

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**



## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIORREACTOR  
ANAEROBIO EN FASE LÍQUIDA PARA TRATAR AGUAS  
RESIDUALES DE CURTIEMBRE”**

### **TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**FÁTIMA GABRIELA FLORES PALTÁN**

**JOHANNA PAOLA VELÍN SAGBAY**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2014**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios por darnos la fuerza y la sabiduría necesaria para enfrentar las adversidades y lograr nuestro objetivo.

A nuestra familia por ser nuestro soporte y principal apoyo en todo momento, y por brindarnos su amor incondicional.

Nuestro más sincero agradecimiento a la Dra. Nancy Veloz, al Dr. Gerardo León y al Dr. Roberto Erazo por brindarnos su apoyo y colaboración en el desarrollo de este proyecto; así como también agradecemos a la Ing. Fernanda Rivera y a la Dra. Gina Álvarez por dedicarnos su tiempo y apoyo.

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al Centro de Servicios Técnicos de Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA y a todo el personal que labora en la institución por compartir con nosotras su tiempo y conocimientos.

## **DEDICATORIA**

*Yo, Fátima Gabriela Flores Paltán en primer lugar dedico a Dios por iluminar mi vida en cada paso, agradezco a mi madre que ha sido mi principal apoyo y me ha brindado su amor incondicional, a mis hermanos por apoyarme siempre y con su ejemplo guiarme. A mi hijo y mi esposo que ha sido mi apoyo y me ha brindado su ayuda en el desarrollo de esta tesis.*

*Yo, Johanna Paola Velín Sagbay, con infinito amor y agradecimiento quiero dedicarle este proyecto primeramente a Dios por ser mi fortaleza, a mi papito bello Cromita que desde su partida se convirtió en una motivación más para no desfallecer, a mi mami Karina por su apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos Gaby y José que supieron comprender y entender en todo instante, a Diego Sebastián por el tiempo y el sacrificio incondicional para ayudarme a cumplir con mis metas.*

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Tesis certifica que El trabajo de investigación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO EN FASE LÍQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE**”, de responsabilidad de las señoritas egresadas Fátima Gabriela Flores Paltán y Johanna Paola Velín Sagbay ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Silvio Álvarez		
<b>DECANO FAC. CIENCAS</b>	.....	.....
Dra. Nancy Veloz		
<b>DIRECTORA ESC. CC. QQ.</b>	.....	.....
Dra. Nancy Veloz		
<b>TUTORA DE TESIS</b>	.....	.....
Dr. Gerardo León		
<b>ASESOR DE TESIS</b>	.....	.....
Ing. Jorge Tenelanda		
<b>DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN</b>	.....	.....



“Nosotras, FÁTIMA GABRIELA FLORES  
PALTÁN Y JOHANNA PAOLA VELÍN  
SAGBAY, somos responsables de las  
ideas, doctrinas y resultados expuestos en  
esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la  
Tesis de Grado pertenecen a la Escuela  
Superior Politécnica de Chimborazo”

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$\rho_e$	Densidad de entrada
$\rho_s$	Densidad de salida
-SH	Iónsulfhidrilo
-SO <sub>4</sub>	Ión sulfato
$\Pi$	Pi
$\Phi$	Diámetro
$\delta_e$	Densidad del estiércol
$\Delta T$	Gradiente de temperatura aritmética
$\mu$	Viscosidad
$\mu\text{L}$	Micro litros
A	Área del fermentador
ADN	Ácido desoxirribonucleico
$A_p$	Altura de la paleta
C	Margen de corrosión
$\text{CaCO}_3$	Carbonato de calcio
$\text{CaO}$	Oxido de calcio
$\text{CH}_4$	Metano
cm	Centímetro

$\text{CO}_2$	Dióxido de carbono
$C_p$	Capacidad calorífica de la mezcla
$\text{Cr}^{3+}$	Cromo trivalente
$\text{Cr}^{6+}$	Cromo hexavalente
$\text{Cu}$	Cobre
$\text{Cu}_2\text{S}$	Calcocita
$\text{CuSO}_4$	Sulfato de cobre
DBO	Demanda biológica de oxígeno
Di	Diámetro del agitador
DQO	Demanda química de oxígeno
e	Espesor de la pared
E	Eficiencia de la soldadura
Er	Espesor del rodete
$e_T$	Espesor de la tapa
Fe	Flujo de entrada
Fs	Flujo de salida
h	Altura
H	Coeficiente de transmisión de calor
$h_c$	Altura de la cámara de calefacción
$h_{fr}$	Distancia entre el fondo del tanque y el rodete

hp	Horse power
$h_T$	Altura total
$h_{\text{útil}}$	Altura útil
$H_2S$	Ácido sulfhídrico
J	Julios
K	Conductividad térmica de la mezcla
Kg	Kilogramos
K $\Omega$	Kilo ohmios
$K_2O$	Oxido de potasio
L	Litros
L	Altura del agitador
$L_b$	Longitud del brazo
Leu	Leucina
Lys	Lisina
$m_a$	Masa del agua
$m_{ai}$	Masa del acero inoxidable
$m_{ec}$	Masa del estiércol caprino
$m_{ep}$	Masa del estiércol porcino
MgO	Oxido de magnesio
MHz	Mega hercios

$m_l$	Masa del lactosuero
NaCl	Cloruro de sodio
$NH_3$	Amoniaco
Ni	Velocidad de agitación del agitador
$N_p$	Número de potencia
Nu	Número de Nusselt
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
Ph	Potencial de Hidrógeno
$P_o$	Presión Inicial
ppm	Partes por millón
Pr	Número de Prandal
$P_{dr}$	Potencia del rodete
$P_s$	Presión de Seguridad
$P_T$	Presión Total
$P_2O_5$	Oxido de fosforo
Qs	Velocidad de transmisión de calor
r	Radio
Re	Número de Reynolds
rpm	Revoluciones por minuto
S	Esfuerzo del material

$T_e$	Temperatura de entrada
$T_F$	Temperatura ideal del fermentador
THA	Polihidroxialcanoato
TRH	Tiempo de retención hidráulico
$T_s$	Temperatura de salida
$v$	Velocidad de recorrido de la esfera
$V$	Volumen
$V_{base}$	Volumen de la base
$V_c$	Volumen de la cámara de calefacción
$V_e$	Volumen del estiércol
$V_{ext}$	Volumen externo
$V_{int}$	Volumen interno
$W$	Watts

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>i</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>ii</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1     PARTE TEÓRICA .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1   Biotecnología .....	- 1 -
1.1.1 Reseña histórica .....	- 1 -
1.1.2 Concepto de Biotecnología .....	- 3 -
1.1.3 Clasificación de la Biotecnología .....	- 3 -
1.1.4 Riesgos de la Biotecnología .....	- 5 -
1.1.5 Beneficios de la Biotecnología.....	- 7 -
1.2   Biotecnología Ambiental .....	- 7 -
1.2.1 Definición de Biotecnología Ambiental .....	- 7 -
1.2.2 Importancia de la Biotecnología Ambiental.....	- 8 -
1.2.3 Aplicaciones de la Biotecnología Ambiental .....	- 9 -
1.2.4 Ventajas y desventajas.....	- 11 -
1.2.5 Limitaciones de la Biotecnología Ambiental .....	- 12 -
1.2.6 Los microorganismos en la Biotecnología Ambiental .....	- 12 -
1.3   Los biorreactores dentro de la Biotecnología .....	- 14 -
1.3.1 Generalidades biorreactores .....	- 14 -
1.3.2 Tipos de biorreactores .....	- 15 -
1.3.3 Instrumentación de biorreactores .....	- 16 -

1.3.4	Modos de operación .....	- 17 -
1.3.5	Biorreactor anaerobio tipo fed-batch .....	- 18 -
1.3.6	Diseño de biorreactores.....	- 20 -
1.3.7	Dimensionamiento del biorreactor .....	- 24 -
1.3.8	Aplicaciones de los biorreactores en los tratamientos de aguas residuales ..	- 35 -
1.4	Industria de la curtiembre y sus contaminantes.....	- 38 -
1.4.1	Procesos de producción .....	- 38 -
1.4.2	Contaminantes de las aguas residuales de curtiembre .....	- 39 -
1.4.3	Metales pesados como contaminantes en la industria de la curtiembre. -	- 40 -
1.4.4	Cromo.....	- 41 -
1.4.5	Biodisponibilidad de metales pesados.....	- 42 -
1.4.6	Transformaciones mediadas por microorganismos .....	- 42 -
1.4.7	Tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados . -	- 44 -
1.5	Preparación del inoculo para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre .....	- 45 -
1.5.1	Preservación del inóculo.....	- 46 -
1.5.2	Multiplicación del inóculo .....	- 46 -
1.5.3	Cultivo de pre-fermentación.....	- 47 -
1.5.4	Fermentación en producción .....	- 47 -
1.5.5	Suero láctico.....	- 47 -
1.5.6	Estiércol.....	- 48 -
1.6	Los supuestos hipotéticos de la investigación .....	- 51 -
1.6.1	Impacto del biorreactor sobre las aguas residuales .....	- 51 -

## **CAPITULO II**

<b>2</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>- 54 -</b>
----------	---------------------------------	---------------



2.1	Lugar de la investigación .....	- 54 -
2.2	Métodos y técnicas .....	- 54 -
2.2.1	Métodos.....	- 54 -
2.2.2	Técnicas .....	- 55 -
2.3	Preparación del inóculo para el tratamiento del agua residual de curtiembre .	- 55 -
2.3.1	Materiales .....	- 55 -
2.3.2	Procedimiento.....	- 55 -
2.4	Análisis del agua residual de curtiembre .....	- 56 -
2.4.1	Determinación de cromo trivalente .....	- 56 -
2.4.2	Determinación de DQO .....	- 56 -
2.4.3	Determinación de sólidos suspendidos .....	- 57 -
2.4.4	Determinación de pH.....	- 57 -
2.5	Análisis del agua en proceso de remediación .....	- 57 -
2.5.1	Determinación de ácido láctico.....	- 57 -
2.5.2	Determinación de coliformes totales.....	- 58 -
2.6	Diseño del biorreactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre .....	- 58 -
2.6.1	Materiales .....	- 58 -
2.6.2	Procedimiento.....	- 59 -
2.6.3	Cálculos para obtener el diseño del biorreactor .....	- 59 -
2.7	Datos adicionales .....	- 63 -
2.7.1	Datos adicionales para calcular el espesor de la lámina de acero inoxidable-	64 -
2.7.2	Datos adicionales para el balance de masa .....	- 64 -
2.8	Construcción del biorreactor anaerobio .....	- 64 -

2.8.1	Materiales construcción del biorreactor .....	64 -
2.8.2	Procedimiento.....	65 -
2.8.3	Automatización de los parámetros de medición del biorreactor .....	65 -
2.8.4	Materiales automatización .....	66 -
2.8.5	Procedimiento.....	66 -
2.9	Tratamiento del agua residual de curtiembre en el biorreactor anaerobio	67 -

## **CAPÍTULO III**

<b>3</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>68 -</b>
3.1	Resultados obtenidos en la caracterización físico-química del agua residual de curtiembre .....	68 -
3.2	Cálculos del balance de masa global .....	68 -
3.3	Resultados obtenidos en la caracterización del agua residual durante y después del tratamiento .....	69 -
3.3.1	Resultados del inóculo pre-tratamiento .....	69 -
3.3.2	Datos de lecturas diarias de pH y temperatura.....	70 -
3.3.3	Resultados obtenidos en el proceso de biorremediación .....	73 -
3.4	Cálculos y resultados obtenidos en la implementación del biorreactor.....	75 -
3.4.1	Cálculos para el dimensionamiento del biorreactor .....	75 -
3.4.2	Resultados obtenidos del dimensionamiento del biorreactor.....	82 -
3.4.3	Resultados dimensionamiento biorreactor.....	83 -
3.5	Eficiencia del biorreactor .....	83 -
3.6	Requerimiento presupuestario.....	84 -
3.6.1	Recursos humanos.....	84 -
3.6.2	Recursos materiales .....	84 -
3.6.3	Recursos económicos .....	85 -
3.6.4	Fuentes de financiamiento.....	85 -

3.7	Discusión de resultados.....	- 85 -
3.7.1	Caracterización del agua residual de curtiembre.....	- 85 -
3.7.2	Caracterización durante y después del tratamiento del agua residual ...	- 85 -
3.7.3	Análisis de resultados dimensionamiento del biorreactor .....	- 87 -
3.7.4	Eficiencia del inóculo y del biorreactor .....	- 88 -
<b>CAPÍTULO IV</b>		
4	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 89 -</b>
4.1	Conclusiones .....	- 89 -
4.2	Recomendaciones .....	- 90 -
<b>CAPÍTULO V</b>		
	<b>RESUMEN .....</b>	<b>- 91 -</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>- 93 -</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>- 99 -</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Instrumentación de un biorreactor .....	- 16 -
FIGURA 2. Características hidrodinámicas de un biorreactor.....	- 22 -
FIGURA 3. Balance anaerobio de la DQO.....	- 36 -
FIGURA 4. Balance aerobio de la DQO.....	- 36 -
FIGURA 5. Proceso de biolixiviación aplicado en minería .....	- 43 -

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. Variación de temperatura .....	- 71 -
GRÁFICA 2. Variación de ph .....	- 72 -
GRÁFICA 3. Reducción de cromo trivalente .....	- 73 -
GRÁFICA 4. Variación de DQO .....	- 74 -
GRÁFICA 5. Resultado de coliformes vs. acidez .....	- 75 -

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. Ventajas y Desventajas de la Biotecnología Ambiental .....	- 11 -
TABLA II. Microorganismos en la Biotecnología Ambiental .....	- 13 -
TABLA III. Ventajas y Desventajas del Reactor Fed Batch .....	- 19 -
TABLA IV. Reactores Anaerobios de Biomasa Suspendida y Fija. ....	- 37 -
TABLA V. Parámetros Operacionales de Reactores Aerobios y Anaerobios....	- 38 -
TABLA VI. Operaciones del Proceso Curtiente .....	- 40 -
TABLA VII. Porcentaje de Microorganismos para una Pre-Fermentación .....	- 47 -
TABLA VIII. Composición Química del Suero Lácteo .....	- 48 -
TABLA IX. Composición del Estiércol de Cerdo.....	- 50 -
TABLA X. Composición del Estiércol Caprino.....	- 51 -
TABLA XI. Determinación de Cromo Trivalente .....	- 56 -
TABLA XII. Determinación de Demanda Química de Oxígeno .....	- 56 -
TABLA XIII. Determinación de Sólidos Suspendidos .....	- 57 -
TABLA XIV. Determinación de pH .....	- 57 -
TABLA XV. Determinación de Ácido Láctico.....	- 58 -
TABLA XVI. Determinación de Coliformes Totales .....	- 58 -
TABLA XVII. Datos Espesor de la Lámina de Acero .....	- 64 -
TABLA XVIII. Datos Balance de Masa .....	- 64 -
TABLA XIX. Materiales Usados en la Construcción del Biorreactor.....	- 64 -
TABLA XX. Materiales Requeridos en la Automatización .....	- 66 -
TABLA XXI. Resultados caracterización físico-química agua residual pre- tratamiento .....	- 68 -

TABLA XXII. Resultados del Inóculo Pre-Tratamiento .....	- 69 -
TABLA XXIII. Datos Lecturas de pH y Temperatura .....	- 70 -
TABLA XXIV. Resultados Obtenidos de Cromo Trivalente y DQO .....	- 73 -
TABLA XXV. Resultados de Coliformes Vs. Acidez.....	- 74 -
TABLA XXVI. Resultados Dimensionamiento Biorreactor.....	- 83 -
TABLA XXVII. Recursos Humanos .....	- 84 -
TABLA XXVIII. Recursos Materiales .....	- 84 -
TABLA XXIX. Recursos Económicos .....	- 85 -
TABLA XXX. Fuentes de Financiamiento .....	- 85 -

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....	- 19 -
Ecuación 2 .....	- 20 -
Ecuación 3 .....	- 24 -
Ecuación 4 .....	- 25 -
Ecuación 5 .....	- 25 -
Ecuación 6 .....	- 25 -
Ecuación 7 .....	- 26 -
Ecuación 8 .....	- 26 -
Ecuación 9 .....	- 26 -
Ecuación 10 .....	- 27 -
Ecuación 11 .....	- 27 -
Ecuación 12 .....	- 28 -
Ecuación 13 .....	- 28 -
Ecuación 14 .....	- 29 -
Ecuación 15 .....	- 29 -
Ecuación 16 .....	- 30 -
Ecuación 17 .....	- 30 -
Ecuación 18 .....	- 30 -
Ecuación 19 .....	- 31 -
Ecuación 20 .....	- 31 -
Ecuación 21 .....	- 31 -
Ecuación 22 .....	- 32 -
Ecuación 23 .....	- 32 -



Ecuación 24 .....	- 32 -
Ecuación 25 .....	- 32 -
Ecuación 26 .....	- 33 -
Ecuación 27 .....	- 33 -
Ecuación 28 .....	- 34 -
Ecuación 29 .....	- 34 -
Ecuación 30 .....	- 34 -
Ecuación 31 .....	- 35 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A .....	- 100 -
ANEXO B .....	- 100 -
ANEXO C .....	- 102 -
ANEXO D .....	- 109 -

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el tratamiento de las aguas residuales de la industria ha empezado a tener un nivel de interés muy alto, lo que ha permitido implementar diversos sistemas de tratamiento con la finalidad de cumplir con los estándares exigidos por la norma vigente en el país, como es el TULSMA.

Nuestro proyecto de tesis se desarrollara en su primera fase a escala de laboratorio que aporta a la industria de la curtiembre con un tratamiento de sus residuales líquidos; en específico la eliminación del  $\text{Cr}^{3+}$  así como DQO, es una tecnología innovadora y sustentable, mediante el uso de bacterias y equipos idóneos para el proceso.

Para que el inóculo cumpla con los objetivos planteados es importante tener un equipo adecuado, el mismo que lo diseñamos y construimos; utilizando fórmulas y datos de crecimiento de los microorganismos, resistencia y tiempo de retención; de tal manera que nos sirva como un medio de crecimiento y tratamiento apto para las bacterias y el agua residual de curtiembre respectivamente.

La investigación y la construcción de nuestra tesis se han ejecutado con el apoyo del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA y la Escuela de Ciencias Químicas de la ESPOCH.

## **JUSTIFICACIÓN**

Para alcanzar la remoción del  $\text{Cr}^{3+}$  del agua residual de curtiembre es necesario realizar procedimientos cautelosos de los medios materiales y sustancias biológicas; tales como el mix bacteriano, agua residual de curtiembre y el biorreactor; con la aplicación adecuada de los mismos se pretende minimizar el grado de contaminación del recurso agua en la industria de la curtiembre, convirtiéndose en un tratamiento válido para estandarización en industrias de tipos similares.

Además el biorreactor anaerobio para tratar aguas residuales de la industria de la curtiembre tiene como fin contribuir con el cuidado del medio ambiente aplicando una tecnología innovadora aportando a investigaciones posteriores en el área de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

A la vez representa un beneficio para toda la sociedad, influyendo positivamente en la enseñanza de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la ESPOCH, pues nuestro equipo puede constituir el inicio de diversas investigaciones que pueden ser desarrolladas posteriormente con el objetivo de mejorar las actuales tecnologías usadas en el tratamiento de efluentes industriales.

Para el desarrollo de la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un biorreactor anaerobio de seis litros tipo Fed-batch en fase líquida para el tratamiento de aguas residuales de la curtiembre; reduciendo los niveles de  $\text{Cr}^{3+}$  y DQO; a escala de laboratorio.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♦ Implementar el biorreactor anaerobio tipo fed-batch en fase líquida, en el laboratorio de Biotecnología de la Escuela de Ciencias Químicas.
- ♦ Caracterizar físico-químico y microbiológicamente el agua residual de curtiembre antes, durante y después del tratamiento
- ♦ Comprobar la eficiencia del biorreactor y el medio de cultivo en la reducción de  $\text{Cr}^{3+}$  y DQO.

# CAPITULO I

## 1 PARTE TEÓRICA

### 1.1 Biotecnología

La biotecnología es un amplio tema de estudio pero en este ítem se desarrollará la historia y aspectos importantes de la misma para introducirnos en el tema del proyecto. Para poder saber más de cerca la importancia de la biotecnología en el proyecto de investigación debemos conocer todo lo que esta nos ofrece desde sus principios que a continuación lo conoceremos.

#### 1.1.1 *Reseña histórica*

Desde principios de los tiempos se ha venido desarrollando la biotecnología, claro está de una manera empírica; lo que nos permite tener bases de cómo desarrollarla para la investigación moderna hoy en día. Se pueden nombrar muchos indicios de la biotecnología y entre los más importantes se citan los siguientes:

- ♦ “Domesticación de plantas y animales desde el Neolítico (7000 – 3000 a.C.)
- ♦ Los egipcios fabricaban pan a partir del trigo hacia el 4000 a.C.
- ♦ En Sumeria y Babilonia (6000 años a.C.) elaboraban cerveza.
- ♦ Según la Biblia, Noé "sufrió" (o disfrutó) accidentalmente los efectos de la fermentación espontánea del mosto de la uva.
- ♦ Los incas (1200-1535) podían conservar sus papas mediante la liofilización (chuño) y su carne mediante el salado o charque, así

mantuvieron unos 10-30 millones de habitantes perfectamente vestidos y alimentados).

- ♦ Otros procesos biotecnológicos conocidos de modo empírico desde la antigüedad: cultivo de champiñones, fabricación de queso, alimentos y bebidas fermentadas no alcohólicas (salsa de soja, yogur, etc.), tratamiento de aguas residuales”.<sup>1</sup>

Se les considera como padres de la biotecnología a investigadores como Van Leeuwenhoek y Robert Hooke (siglo XVII) quienes plantean la existencia de “animálculos” que se encuentran fuera del alcance del ojo humano, es decir, son microscópicos.

Este planteamiento de la existencia de seres microscópicos no fue sino escuchada hasta después de unos siglos con la aparición de un nuevo investigador, Louis Pasteur quien realizó una investigación minuciosa y detallada en los años 1857-1876, demostrando en ella la relación de los microorganismos en procesos como la fermentación y/o putrefacción o incluso conservación de alimentos.

Como se puede ver los indicios de la biotecnología desde inicios de la humanidad son a partir de la necesidad de alimentos, es por ello que con la investigación de Pasteur se inicia la producción industrial de etanol, butanol, cetona, entre otros, mediante una fermentación expuesta y sin esterilización.

En 1919 el ingeniero húngaro Karl Ereky conocido como el padre de la biotecnología por ser el primero en utilizar esta palabra en sus investigaciones, con una recopilación de la información de los microorganismos la manipulación genética para su beneficio, inicia el apogeo de la biotecnología como herramienta en distintas áreas de interés alimentario e incluso medicinal. Es importante recalcar la ligadura que ata a la biotecnología con la genética desde el principio y que las mantiene ligadas hasta hoy. “La edad de oro de la bacteriología”, toma su

---

<sup>1</sup>BIOTECNOLOGÍA, HISTORIA Y CRONOLOGÍA  
<http://www.ing.unlp.edu.ar/produccion/introing/bib/Biotecnologia2.pdf>

auge a finales del siglo XIX con la implementación de técnicas de fermentación esterilizadas tales como la pasteurización, la penicilina, el descubrimiento de enzimas de restricción.

### **1.1.2 Concepto de Biotecnología**

Considerando las definiciones ya existentes de la biotecnología nuestro perspectiva se la explicaría de esta manera: la biotecnología es un conjunto de procesos ligados a los microorganismos, los mismos que permiten alcanzar resultados eficientes, en tiempo y dinero, en diferentes campos de la ciencia, sean éstas: medicina, industria, genética, alimentos, entre otros.

En sí hablar de biotecnología es hablar de avances tecnológicos, conocimientos e investigación; llegando a convertirse en una de las ramas de la ciencia de la vida, más importantes y por supuesto más estudiadas desde niveles primarios hasta los más prestigiosos centros de investigación en el mundo.

### **1.1.3 Clasificación de la Biotecnología**

Al ser una rama muy amplia la biotecnología merece un estudio detallado y por ende una clasificación muy amplia, presentamos en este punto una clasificación detallada de ésta:

- ♦ **La Biotecnología Animal:** una de las más importantes por su aporte a la sociedad y la medicina con procesos como aislar genéticamente los genes que permiten la cura de enfermedades humanas, permitiendo el desarrollo de vacunas. Otra aplicación muy común es la fertilización in vitro y el uso de hormonas de crecimiento.
  
- ♦ **La Biotecnología Industrial:** se ha manejado de manera eficiente en diversas empresas, como ejemplo citamos a la empresa farmacéutica que usa plantas para la producción de sus medicinas en cantidades industriales.



- ♦ **La Biotecnología Ambiental:** es la aplicación de organismos vivos para protección del medio ambiente, mediante técnicas que permiten obtener resultados eficientes y amigables con la naturaleza, algunas de sus aplicaciones son: la biorremediación (uso de sistemas biológicos para la reducción de la polución del aire o de los sistemas acuáticos y terrestres) se está enfocando hacia el suelo y los residuos sólidos, tratamientos de aguas domésticas e industriales, aguas procesadas y de consumo humano, aire y gases de desecho, lo que está provocando que surjan muchas inquietudes e interrogantes debido al escaso conocimiento de las interacciones de los organismos entre sí, y con el suelo. Los sistemas biológicos utilizan microorganismos y plantas.
  
- ♦ **Biotecnología vegetal:** como su palabra lo dice la biotecnología vegetal trata de plantas, mejorando sus eficiencia en: crecimiento más rápido, soporte o fuerza en su fisiología para climas adversos, e incluso alargar su tiempo de vida; todo esto con ayuda de la ingeniería genética.
  
- ♦ **Biotecnología Humana:** Puesto que cada criatura es única, cada una posee una composición única de ADN. Cualquier individuo puede ser identificado por pequeñas diferencias en su secuencia de ADN, este pequeño fragmento puede ser utilizado para determinar relaciones familiares en litigios de paternidad, para confrontar donantes de órganos con receptores en programas de trasplante, unir sospechosos con la evidencia de ADN en la escena del crimen (biotecnología forense). “El primer tratamiento famoso en terapia génica fue en 1990, cuando se trató una enfermedad del sistema inmune de niños llamada “Deficiencia de ADA”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>DUQUE J.P. Biotecnología Panorámica de un Sector.

#### **1.1.4 Riesgos de la Biotecnología**

Toda investigación innovadora tiene sus respectivos riesgos, los mismos que se pueden evidenciar de acuerdo a la aplicación y/o uso de la investigación, en nuestro caso la biotecnología al aplicarse en campos de alta sensibilidad; grupos como la OCDE “consideran como problemas de seguridad siete aspectos los cuales son: transferencia de genes, malezas, efectos de las características, variabilidad genética y fenotípica, manifestaciones del material genético tomado de patógenos, y seguridad del personal encargado del trabajo”.<sup>3</sup>

Para dicha causa resumiremos los problemas introduciéndolos en una clasificación de los riesgos que se derivan de la biotecnología el riesgo a la salud humana, el riesgo ambiental y el riesgo en el impacto socio-político; cada uno de ellos conlleva efectos, los que detallaremos a continuación.

##### **1.1.4.1 Riesgos a la salud humana**

Cuando hablamos de riesgos necesariamente tiene que existir una exposición del agente o materia que está siendo motivo de controversia; en este caso la biotecnología ha aportado muchísimo al desarrollo de la salud humana, pero también el uso de alimentos o medicamentos biotecnológicamente creados o modificados ha causado efectos adversos en aquellos que los ingieren sin necesidad de la modificación del alimento o medicina, plantearemos un ejemplo típico, si un alimento es modificado genéticamente para proporcionar a quien lo ingiera mayor cantidad de hierro, la persona que consuma este producto y tenga deficiencia de este elemento será excelente pero para alguien que tiene niveles normales de hierro no es recomendable su ingestión, además de la modificación genética que sufre el producto llegando a modificarse otros genes que no se requerían e incluso creando resistencia a antibióticos, siendo un riesgo potencial al ser humano en especial.

---

<sup>3</sup> CASTILLO F. Biotecnología Ambiental.

#### **1.1.4.2 Riesgos al medio ambiente**

Los riesgos ambientales son potenciales en dos aspectos: el primer efecto es la polinización cruzada, mediante la cual los organismos vivos GM se cruzan con otras especies dando lugar a una nueva especie pero esta no controlada convirtiéndose en una “hierba mala”, el segundo efecto es la resistencia a los insecticidas e incluso la depredación de otras especies por el uso modificado de los mismos; como es el caso del uso de *Bacillus thuringiensis* (el gene Bt) en cultivos de maíz y algodón el cual ocasionó una resistencia de los insectos dañinos al insecticida, así mismo la muerte de otros agentes vivos beneficiosos para los mismos cultivos, lo que se transforma un desequilibrio ecológico. Siendo estos problemas y riesgos que se deben resolver y prevenir respectivamente para seguir manteniendo el equilibrio del ciclo de la vida; es importante realizar un plan de manejo de riesgos.

#### **1.1.4.3 Riesgo socio-político**

Como mencionamos en la conceptualización de la biotecnología esta última está ligada íntimamente con la sociedad y las políticas de la misma; es por ello que también se considera un riesgo las decisiones del uso y manipulación de los productos biotecnológicos, puesto que la sociedad se ve involucrada directamente con ésta. En si el riesgo de la biotecnología en la sociedad apunta a una toma de decisiones adecuadas a la hora de utilizarla, además de una conciencia en el uso y disposición de las tecnologías que la biotecnología ofrece a la sociedad, se puede considerar como un efecto importante la reacción de ciertos grupos sociales interesados y aquellos que se encuentran en contra de las prácticas de estas tecnologías biológicas; los intereses son muchos y las políticas siempre deben en pro de los que están siendo gobernados, por lo que se debe equilibrar los intereses con lo que es necesario y fundamental.

### **1.1.5 Beneficios de la Biotecnología**

Los beneficios de la biotecnología se ven evidenciados en las mejoras en pro de la salud humana e incluso de flora y fauna, en las cantidades de productos GM que han revolucionado al mundo con sus capacidades enriquecedoras en cuanto a la agricultura, ambiente, medicina, entre muchas otras, el aporte incomparable en el campo ambiental otorgando no solo las herramientas para soluciones pasajeras sino para acabar con los problemas en definitiva de una manera segura y eficiente<sup>4</sup>.

No cabe duda que el éxito de toda tecnología es la eficiencia es por ello que la biotecnología ha llegado a tener el éxito que muchas otras tecnologías ni han podido alcanzar; la biotecnología con su capacidad para resolver problemas con costes muy bajos y a un tiempo menor que el de otras propuestas de solución que no alcanzado los estándares que la sociedad y el ambiente requieren en un mundo globalizado que corre a una velocidad impresionante tanto positiva como negativamente.

## **1.2 Biotecnología Ambiental**

La biotecnología ambiental es parte fundamental de la biotecnología siendo una de las ramas más desarrolladas y de aporte a las ciencias científicas, es importante conocer todo acerca lo que esta rama de la biotecnología nos ofrece dentro de sus investigaciones como contribución a la los proyectos en pro del medio ambiente.

### **1.2.1 Definición de Biotecnología Ambiental**

La biotecnología ambiental es en primer lugar una rama de la biotecnología, que se orienta a la aplicación de la biotecnología para resolver o remediar problemas ambientales, ya sean éstos, agricultura, minería, agroindustria, aguas residuales,

---

<sup>4</sup>CASTILLO F. Biotecnología Ambiental.

etc., con el afán de conservar la calidad ambiental del medio en el cual la sociedad se desarrolla.<sup>5</sup>

Cuando se habla de biotecnología ambiental hacemos referencia a un tema netamente nuevo; lo cual es un error al ser éste uno de los temas más antiguos ya que nuestros antepasados antes de Cristo empezaron a tratar las aguas residuales domesticas de ese tiempo, claro está no era una técnica sino un tratamiento empírico, todo este tratamiento empírico se lo realizaba con el dejar crecer microorganismo y macroorganismos que se dieron cuenta quitaba el color y olor de las aguas residuales. Estos fueron los primeros indicios que hoy nos llevan a definirle a la biotecnología ambiental como parte fundamental de una lucha incansable por la protección del ambiente en el cual habitamos.

### ***1.2.2 Importancia de la Biotecnología Ambiental***

Hablar de biotecnología ambiental es hablar de una inminente solución, que la humanidad en su constante lucha contra grupos sociales inconscientes del daño provocado por sus acciones destruye el medio en el cual vivimos, nace como una necesidad urgente de parar el deterioro ambiental. Podemos identificar la importancia de biotecnología en los resultados expuestos de investigaciones en las cuales la biotecnología ambiental ha tenido mucho que ver, podemos mencionar la biorremediación de aguas y suelos contaminados, en especial con petróleo; estos tratamientos netamente biotecnológicos han convertido a la biotecnología ambiental en una aplicación necesaria para la conservación del medio ambiente.

La eficiencia en el tiempo y dinero cuando se trata de proteger el medio ambiente indica que es una tecnología apropiada e importante en el campo de la protección ambiental, su aplicación ha alcanzado niveles desbordantes por su éxito en las aplicaciones, en países como Chile, Argentina y en el mismo Ecuador. Sin duda alguna que la biotecnología ambiental hoy por hoy se ha vuelto indispensable para

---

<sup>5</sup>CASTILLO, F., Biotecnología Ambiental.2005

conservar y recuperar los espacios que nuestro planeta nos ofrece como un regalo de vida.

### **1.2.3 Aplicaciones de la Biotecnología Ambiental**

#### **1.2.3.1 Biorremediación**

La biorremediación es una técnica de aplicación de la biotecnología ambiental, que conlleva el mismo principio de la biotecnología, el aprovechamiento de microorganismos para la remediación de espacios contaminados; si fuere necesaria la modificación genética del microorganismo para dicho fin o simplemente una estimulación del organismo en acción.

Dentro de los procedimientos más utilizados de la biorremediación podemos citar:

- ♦ **Tratamiento de suelos y aguas.-** para el tratamiento de éstas se utilizan técnicas específicas para cada caso; el suelo contaminado es tratado con técnicas como el composteo, bioventilación, biotransformación, cada una de estas con el uso de el microorganismo adecuado para el contaminante indicado; en cuanto a las aguas residuales es mucho más complejo puesto que se utiliza medios físicos como tanques anaerobios/aerobios para la proliferación de los microorganismos que se encargaran de la remediación, así como biorreactores que cumplen con la misma función.
  
- ♦ **Fitorremediación.-** es una técnica muy usada en biorremediación, lo cual no nos limita al uso nada más de microorganismos en la biotecnología ambiental, sino también el de las plantas como medio de remediación. Mediante la fitorremediación los contaminantes en especial metales pesados son absorbidos por la planta acumulándose en especial en las hojas de éstas; donde surge una nueva dificultad, la disposición final y/o uso de las plantas cargadas de metales pesados, por lo que la única opción viable es la incineración, lo cual se podría considerar un punto en contra a esta técnica sin dejar de lado la eficiencia en el procesos de absorción que cumple el vegetal en cuestión.

### 1.2.3.2 Industria

Las industrias han tomado a la biotecnología como un negocio lucrativo siendo aplicada en procesos de producción industrial tales como:

- ♦ **Producción de biomateriales:** consiste en la creación de materiales de uso cotidiano biodegradables, tales como las fundas y plásticos biodegradables, como pueden lograrlo con microorganismo productores de plástico; la producción de polihidroxialcanoato (PHA) se la empezó a producir a gran escala por medio de un proceso innovador de fermentación líquida para el crecimiento adecuado de las bacterias productoras de este polímero, las bacterias productoras del polímero en mención son la especie *Alcaligenes eutrophus* conocida también como *Wautersia eutropha*; al final la comercialización de este producto de lo hizo con el nombre BiopolTM.
- ♦ **Biominería:** esta una aplicación de la biotecnología ambiental que se nos refleja con claridad lo que la biotecnología nos ofrece, puesto que en el campo de la minería tenemos áreas contaminadas como la aguas, suelos e incluso aire, es ahí donde entra en acción la aplicación de microorganismos los cuales actúan desde la depuración de las aguas para los diferentes procesos hasta la separación de contaminantes del suelo, agua e incluso aire con la aplicación de biofiltros. En países como Chile, Estados Unidos y en cantidades menos competitivas se encuentran Brasil y Argentina, usan técnicas de biotecnología ambiental para poder superar los problemas de contaminación, en especial el recurso agua, generados por la explotación minera. Uno de los casos de aplicación de biotecnología ambiental está en la recuperación del Rio Tinto afectado por la explotación de las balsas de fosfoyesos, en España; el investigador de la Universidad de Huelva, Julio Cesar Castillo después de una larga investigación encuentra una solución al problema de contaminación generado por la explotación de las balsas de fosfoyesos citándonos lo siguiente, explica su solución: “Mi teoría es que se pueden evitar las filtraciones que contaminan la marisma y el Río, que hoy

en día se están produciendo, creando una barrera natural de estas bacterias entre las balsas y el agua del Río Tinto ya que las bacterias no dejarían pasar los metales tóxicos; estos organismos que están en la marisma inmovilizan los metales tóxicos”.<sup>6</sup>

#### **1.2.4 Ventajas y desventajas**

Así como la biotecnología ambiental nos aporta grandes cantidades de beneficios, pues también tiene ciertas desventajas en sus aplicaciones; por lo que, se considera que el uso de la biotecnología en pro del medio ambiente debe ser cuidadosamente manejada y controlada, a continuación mostraremos en la tabla I las ventajas y desventajas de la biotecnología ambiental.

**TABLA I.** Ventajas y Desventajas de la Biotecnología Ambiental

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Menor tiempo de remediación de suelos y aguas contaminadas en comparación con métodos químicos.	Las investigaciones sobre las aplicaciones de la biotecnología ambiental aún son muy limitadas.
Menor uso de recursos humanos en las inspecciones y procedimientos durante la remediación.	La proliferación de los microorganismos utilizados en ambientes los cuales no se requiere de su acción.
Reutilización de residuos orgánicos e inorgánicos.	Los recursos económicos pueden ser altos en cuanto a su automatización en equipos.
Innovadoras soluciones amigables con el ambiente para su protección.	Falta de investigación para el descubrimiento de nuevos organismos vivos para su aplicación en la biotecnología ambiental.
Capacidad multiusos de las estructuras y equipos como medios de remediación.	
Uso múltiple de los microorganismos utilizados para los propósitos de remediación, protección y prevención de daños al medio ambiente.	

**Fuente:** Autoras

<sup>6</sup>CASTILLO F. Biotecnología Ambiental.



Como podemos ver es una gran ventaja tener a la biotecnología ambiental como una solución muy viable; ya que las desventajas son reducidas en comparación a los grandes aportes que esta nos ofrece, para protección ambiental.

#### ***1.2.5 Limitaciones de la Biotecnología Ambiental***

Cuando hablamos de limitaciones de la biotecnología nos exponemos a situaciones como la falta de interés y conocimientos de centros de investigación que tienen los medios para poder desarrollar nuevos procesos que innoven la manera de remediar, proteger e inclusive manejar tecnologías limpias que mantengan el medio ambiente en el cual nos desarrollamos.

Además de las limitaciones de inversiones en investigación, tenemos la falta de conocimiento de los grandes beneficios que la aplicación de la biotecnología ambiental nos ofrece, fundamentalmente en cuanto a remediación o descontaminación de recursos hídricos que han sido afectados por aguas residuales domésticas, los cuales en nuestro país como en muchos ha llegado a tener excelentes resultados, la falta de divulgación de la existencia y éxito de estos procesos no ha permitido una aplicación más amplia de éstas.

Por último la más importante limitación radica en la cultura de la comunidad puesto que al escuchar microorganismos, en su gran mayoría, se oponen totalmente a que se use microorganismos en los procesos de producción más limpia; lo cual ocasiona cierta limitación, que si bien es cierto puede ser superada con una capacitación a la población involucrada para que conozcan la verdadera realidad y beneficio del uso de la biotecnología ambiental para pro y mejora de nuestro medio de vida.

#### ***1.2.6 Los microorganismos en la Biotecnología Ambiental***

Siempre que se menciona biotecnología inmediatamente la asociamos con organismos vivos, lo mismo sucede con la biotecnología ambiental, la relacionamos con microorganismos que se usan para solucionar problemas

ambientales; por esa razón los microorganismos en este campo juegan un papel indispensable, sus funciones, características y capacidades hacen de los organismos microscópicos los mejores amigos del investigador en biotecnología ambiental.

**TABLA II.** Microorganismos en la Biotecnología Ambiental

<b>MICROORGANISMOS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>APLICACIONES</b>
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	Oxidan gran cantidad de hierro.	Minería
Genero <i>Thiobacillus</i>	Recuperación de metales asociados a sulfuros. Aportan a la lixiviación microbiana. Ayudan a la recuperación de del cobre en solución.	Minería
<b><i>Cupriavidus metallidurans</i> CH<sub>4</sub></b>	Proteobacteria extremófila/metalófila. Aislada en áreas industriales: compuestos tóxicos; temperatura, humedad y pH fluctuantes; sin vegetación, escasas de microorganismos y nutrientes. Quimilitoautótrofa; crecimiento en biofilms, sideróforos, gran versatilidad. Operones de resistencia a metales pesados.	Tratamiento de aguas residuales con metales pesados  Tratamiento de suelos contaminados con metales pesados.  Biosensores
<i>Hansenula</i> , <i>Pichia</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Saccharomyces</i>	Complejo vitamínico B, bajo contenido en ácidos nucleicos. Atacan a la material más difícil de degradar celulosa y lignina. Son mesófilos y termófilos. Actúan de mejor manera en su ciclo de maduración.	Tratamiento de suelos contaminados con petróleo.  Obtención de compost.
<i>Cellulomonas</i> , <i>Alcaligenes</i>	80% de proteínas, aminoácidos esenciales, muy alto contenido de ácidos nucleicos.	Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales.  Tratamiento de suelos contaminados.  Compostaje

Fuente: CASTILLO, F., Biotecnología Ambiental. 2005.

Es merecedor destacar el uso adicional de plantas con propiedades excelentes en cuanto a la protección del medio ambiente; tanto es su aporte que existe una técnica de biorremediación propia para estos organismos vivos esta es la

fitorremediación, mencionada en puntos anteriores, alcanzando resultados prometedores en cuanto a descontaminación de aguas con metales pesados.

Estos organismos y microorganismos por su aporte significativo son acreedores a una propia investigación; es por ello que citaremos algunos microorganismos utilizados en el campo de la biotecnología ambiental, como se detalla en la Tabla II.

### **1.3 Los biorreactores dentro de la Biotecnología**

Los biorreactores son tecnologías innovadoras que la biotecnología, y por ende la biotecnología ambiental, las utilizan para llevar a cabo objetivos específicos tales como la maximización en grandes cantidades de microorganismos así como el tratamiento de aguas residuales; debido a su importancia éste se merece su propio espacio de estudio.

#### **1.3.1 Generalidades biorreactores**

Un biorreactor se define como “aquel dispositivo que proporciona un medio ambiente controlado que permite el crecimiento eficaz de las células y la formación de un producto”<sup>7</sup> dicho de otra manera un biorreactor proporciona las características como pH, temperatura, oxígeno y sales que necesita un medio de cultivo para obtener, mediante procesos de reacciones bioquímicas, un producto deseado.

Los biorreactores pueden ser contruidos en materiales como vidrio y acero inoxidable debido a que estos materiales proporcionan mejor ambiente aséptico y son resistentes a la corrosión lo que incrementa su productividad y vida útil. De acuerdo a las necesidades los biorreactores pueden ser aerobios, que necesitan de un medio para proporcionarles oxígeno, o anaerobios que no necesitan de una fuente de oxígeno para obtener un producto.

---

<sup>7</sup>CASTILLO, F., Biotecnología Ambiental

### **1.3.2 Tipos de biorreactores**

Tomando en cuenta las funciones de cada biorreactor estos se clasifican en tres grandes grupos:

- ◆ Fermentadores bucle agitado por aire (air-lift)
- ◆ Fermentadores de torre
- ◆ Fermentadores con agitación mecánica

**Fermentador air-lift.**-Este fermentador recurre a la expansión del gas introducido a la misma temperatura con la que se encuentra el líquido, así se mantiene una mezcla homogénea y de igual forma se evita, debido a que es un proceso no destructivo, que los microorganismos mueran e incluso el riesgo es menor comparado con otro tipo de fermentadores.

**Fermentador de torre.**- se caracteriza porque la relación entre el diámetro y la altura del tanque es grande, es decir que este tipo de fermentadores tienen una altura significativa en relación con el diámetro del mismo, son utilizados comúnmente en cultivos continuos y heterogéneos.

**Fermentadores con agitación mecánica.**- a diferencia de los dos tipos de fermentadores descritos anteriormente son los más usados debido a su fácil funcionamiento y confiabilidad; constan de un soporte de acero inoxidable, fijado en la tapa o en la base del reactor, que tiene un sistema de agitación del tipo necesario según el producto que se desee obtener.

Las operaciones realizadas por estos biorreactores son las siguientes:

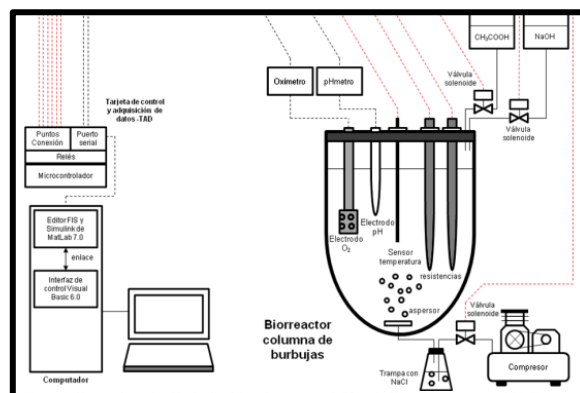
1. “Homogeneización, para mantener temperatura y distribución de concentración uniformes.
2. Mezcla sólido/líquido, para mantener una suspensión con una distribución de sólidos uniforme.

3. Procesos líquido/líquido, para dispersar una fase en otra, formar emulsiones y realizar extracciones.
4. Procesos gaseoso/líquido, para dispersar el gas en los líquidos, airear el líquido.
5. Intercambio de calor”.<sup>8</sup>

### 1.3.3 Instrumentación de biorreactores

La instrumentación de un biorreactor es una parte esencial del proceso que nos permite tener una visión y nos permite controlar lo que ocurre en el interior del biorreactor; se requieren de sensores así como de otros equipos de automatización que reflejan el funcionamiento del equipo. Los parámetros que deben ser medidos en un biorreactor son pH, temperatura, oxígeno, formación de espuma y presión, entre otros.

Para llevar a cabo este proceso es necesario utilizar sensores adecuados para el medio en el que se van a encontrar, deben ser fácilmente esterilizables para poder mantener la asepsia adecuada en el interior del biorreactor. En nuestro caso las variables importantes a medir son pH y temperatura debido a las características y tipo de reactor propuesto.



**Figura 1. Instrumentación de un Biorreactor**

**Fuente:** H. Arteaga y V. Vásquez / Scientia Agropecuaria 2(2012) 139 - 148, J.I. Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo. 2003

<sup>8</sup> LIZARDI, M.A. Tesis Dr. Biotecnología. México D.F. Universidad Autónoma Metropolitana, 2011, 120p.

### **1.3.3.1 Control y medición de temperatura**

Es indispensable que en el diseño y construcción de un biorreactor se controle y mida la temperatura del medio en el que se va a trabajar con el objetivo de mantener las condiciones adecuadas que se requieren para obtener los productos deseados.

Para la medición y control de la temperatura utilizamos termocuplas “que son los sensores de temperatura más comúnmente utilizados en la industria. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los mili volts el cual aumenta con la temperatura”<sup>9</sup>

### **1.3.3.2 Control de pH**

La medición de pH se la puede realizar de dos formas ya sea mediante el uso de indicadores o mediante el uso de pH metro, este último es el método más adecuado cuando se requiere de mediciones exactas.

El pH metro no es más que un “método potencio métrico que se basa en la medida del potencial eléctrico (respecto a una referencia) de un electrodo sumergido en la disolución problema, a partir de la cual es posible establecer la concentración de la misma directa o indirectamente”<sup>10</sup>.

### **1.3.4 Modos de operación**

De acuerdo al modo de operación de un biorreactor tenemos tres tipos.

1. Modo lote (Batch)
2. Modo lote alimentado (Fed-Batch)
3. Modo continuo

---

<sup>9</sup>RODRIGUEZ, A.C., CABRERA, A.I, Y VALENCIA, Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica.

<sup>10</sup>RODRIGUEZ, A.C., CABRERA, A.I, Y VALENCIA, Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica.

Un reactor de tipo batch o discontinuo tiene la característica que el todos los nutrientes o sustrato es adicionado al inicio del proceso y el producto se obtiene luego de un lapso de tiempo.

En el reactor semicontinuo el sustrato se adiciona en intervalo de tiempos conocidos ya sea de forma automática o de forma manual y el producto es retirado únicamente al final del proceso, por lo que el volumen inicial no será igual al volumen final; y este puede resultar un problema si no se da un control adecuado o los nutrientes son ingresados en cantidades o tiempo erróneos.

Este tipo de reactor aprovecha las ventajas tanto de un reactor discontinuo como de un reactor continuo y mejora su rendimiento; es ampliamente usado en la producción de levadura de pan y producción de antibióticos.

Un reactor continuo o quimiostato funciona de manera que la cantidad de nutrientes que entran es proporcional a la cantidad de nutrientes que sale, este reactor tiene la desventaja de ser susceptible a la contaminación debido a su funcionamiento.

### **1.3.5 Biorreactor anaerobio tipo fed-batch**

#### **1.3.5.1 Características Generales**

- ✦ “Estos sistemas operan adicionando medio fresco, pero sin remoción del existente.
- ✦ Son muy útiles cuando se requiere una elevada densidad celular en la etapa de iniciación del proceso que implica un alto consumo de nutrientes, especialmente de fuente hidrocarbonada que suele funcionar como sustrato limitante.
- ✦ Variante del batch alimentado; consiste en remover, al final de la operación entre un 80 y un 90 % del cultivo y reemplazarlo por medio fresco. De esta

manera puede eliminarse el período lag, satisfacerse sencillamente la necesidad de contar con inóculos de gran tamaño y a su vez evitar la esterilización del reactor entre dos ciclos”<sup>11</sup>.

#### 1.3.5.2 Ventajas y desventajas de los reactores fed-batch

**TABLA III.** Ventajas y Desventajas del Reactor Fed Batch

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Producción de altas densidades celulares	Se requiere de un mayor control de la asepsia para que no afecte al proceso.
Condiciones controladas en el suministro de sustratos durante la fermentación	La acumulación de microorganismos muertos puede contaminar el medio y afectar el proceso
Control sobre la formación de subproductos	
Incrementa la duración de la fermentación	

Fuente: <http://www.gl.umbc.edu/~gferre1/fedbatch.html>

#### 1.3.5.3 Balance de masas Reactores Fed Batch

##### ✦ Balance de masa global

Masa entra – masa sale = Acumulación

$$F_e * \rho_e - F_s * \rho_s = \frac{d(\rho * V)}{dt}$$

Ecuación 1

Supuestos

- No hay flujos de salida  $F_s = 0$
- Flujo de entrada  $F_e = F(t)$
- Densidad constante  $\rho_e = \rho_s$

Entonces

<sup>11</sup> ATKINSON B. Reactores Bioquímicos



$$F(t) = \frac{dV}{dt}$$

Ecuación 2

### **1.3.6 Diseño de biorreactores**

El diseño de reactores es un tema que debe ser analizado cuidadosamente ya que como mencionamos anteriormente un biorreactor debe mantener un ambiente biológicamente activo para obtener los productos deseados, es indispensable considerar que su correcto diseño nos garantizará un buen funcionamiento y rendimiento.

Inicialmente se debe determinar qué uso se dará al biorreactor para posteriormente definir el tipo de biorreactor, el modo de operación, el ambiente al que se va a encontrar expuesto, etc. Otras consideraciones importantes que debemos conocer es la cinética de la reacción para entender cómo trabaja nuestro biorreactor, un balance de masa, nutrientes y productos nos guiarán en el diseño del reactor.

El rendimiento de cualquier biorreactor depende de muchas funciones, tales como los enumerados a continuación:

- ◆ Concentración de la biomasa
- ◆ Condiciones estériles
- ◆ Efectividad de la agitación
- ◆ Calor removido
- ◆ Nutrientes
- ◆ Productos removidos
- ◆ Productos inhibidos
- ◆ Aireación
- ◆ Metabolismo/actividad microbiana<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup>ATKINSON B. Reactores Bioquímicos.

El movimiento en el interior del biorreactor debe garantizar que la mezcla sea homogénea que contribuye a una temperatura uniforme, evitar formación de sedimentos y lograr en nuestro caso que el inóculo pueda combinarse completamente con el agua contaminada. Para llegar a nuestro objetivo la velocidad de agitación debe ser considerablemente mínima para evitar que los microorganismos sean destruidos y fallar con nuestro proyecto.

#### ***1.3.6.1 Cuerpo del biorreactor***

El cuerpo del biorreactor es el lugar donde se lleva a cabo todo el proceso de fermentación brindando a los microorganismos el ambiente necesario para su desarrollo; este puede variar desde un volumen muy bajo hasta grandes volúmenes que son requeridos a escala industrial.

Cuenta con formas diferentes así como estructuras diferentes debido a su uso y tipo de reactor, puede ser cóncavo, redondo e incluso cilíndrico, todo esto aporta a un eficiente resultado en el tratamiento o crecimiento celular, si este fuera el caso.

#### ***1.3.6.2 Sistema de agitación***

Todo biorreactor necesita un sistema de agitación, que permita una mezcla completa del medio que se encuentra en el cuerpo del reactor.

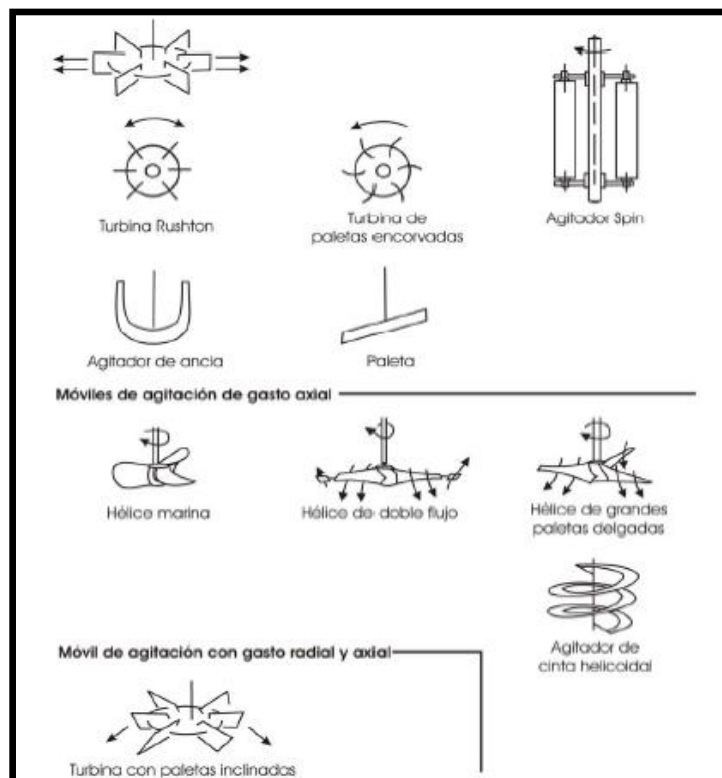
Este sistema de agitación es completamente independiente de una oxigenación que es propio de los reactores continuos; el sistema de agitación que está presente en todos los biorreactores, es importante durante el proceso ya que permite una homogenización adecuada del medio.

Existen diversos tipos de agitadores que son usados de acuerdo a requerimientos industriales o de laboratorio y dependerán también del medio o la sustancia en la que vayan a trabajar. Así podemos mencionar las siguientes.

## ♦ Agitadores rotativos

Este tipo de agitadores son los más utilizados en la tecnología de biorreactores en el que un eje que contiene las paletas está unido a un motor que hace posible su movimiento.

“Dentro de este tipo de agitadores encontramos agitadores de gasto radial de los cuales los más comunes son la turbina Rushton y agitadores de ancla y de paleta, y de gasto axial entre los que encontramos hélices marinas, agitador de cinta helicoidal entre otros”<sup>13</sup>



**Figura2. Características hidrodinámicas de un biorreactor**

**Fuente:** GUEVARA, E. Diseño construcción y caracterización hidrodinámica de un biorreactor multifuncional. 2004.

<sup>13</sup> GUEVARA, E.; Tesis Ing. Alimentos. Oaxaca Universidad Tecnológica de la Mixteca.

### **1.3.6.3 Tapas**

Las tapas dentro de los biorreactores son de gran importancia, debido a la función que cumplen proteger, cubrir y sellar al medio que se encuentra dentro del cuerpo del reactor; en todo reactor que ejerza presión la tapa debe estar diseñada para soportar la misma, es por eso que se las clasifica de la siguiente manera:

- ♦ **Tapas toriesféricas**

Este tipo de tapas son las más usadas en la industria ya que soportan presiones altas y su costo es accesible. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros

- ♦ **Tapas semiesféricas**

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas. Como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación

- ♦ **Tapas Semielípticas**

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesféricas es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas.

- ♦ **Tapas planas**

Se utilizan para “cerrar” recipientes sujetos a presión atmosférica generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes sujetos a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo, se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.

- ♦ **Tapas cónicas**

Son usadas comúnmente en torres fraccionadas o de destilación donde puede existir una acumulación de sólidos; su única limitación consiste en que el ángulo del vértice no deberá ser mayor de 60°.

#### **1.3.6.4 Sistemas de control**

En algunos casos, en especial en el siglo XXI, los biorreactores usan como sistema de control automatización de los mismos; esto consiste en disminuir la mano de obra y minimizar el tiempo de trabajo, ya que se automatiza todo el sistema o simplemente algunos de los procesos.

Se pueden automatizar los sensores para que controlen parámetros como: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, etc.; también se pueden automatizar las entradas y salidas de inóculos y medios de cultivo, a la par de esto se puede llegar incluso a automatizar el ensamblaje y viceversa. Todo esto monitoreado por una pantalla led la misma que nos genera las lecturas de los sistemas automatizados del biorreactor, reduciendo costos, mano de obra y minimizando costos de operación. Como todo equipo automatizado requieren de mantenimiento y cuidado especial debido a la fragilidad de los equipos electrónicos.

#### **1.3.7 Dimensionamiento del biorreactor**

Para el dimensionamiento del biorreactor se requiere de la utilización de fórmulas preestablecidas, las mismas que nos permitirán realizar un modelo único y preciso para la investigación.

##### **1.3.7.1 Cálculo de la altura**

Para el cálculo de la altura usamos la siguiente fórmula:

$$V = \pi * r^2 * h_u$$

Ecuación 3

De la que despejamos  $h$

$$h_u = \frac{V}{\pi r^2}$$

Ecuación 4

Donde:

$h$ : altura del fermentador (m)

$V$ : volumen ( $m^3$ )

$r$ : radio del fermentador (m)

#### **1.3.7.2 Cálculo de la altura de seguridad**

$$h_s = h_u * 30\%$$

Ecuación 5

Donde:

$h$ : altura del fermentador (m)

$h_s$ : altura de seguridad (m)

#### **1.3.7.3 Cálculo de la altura total del tanque**

$$H_T = h_u + h_s$$

Ecuación 6

Donde:

$H_T$ : altura total (m)

$h$ : altura del fermentador (m)

$h_s$ : altura de seguridad (m)

#### **1.3.7.4 Cálculo de la presión total**

$$P = P_O + P_S$$

Ecuación 7

Donde:

P= Presión total

$P_O$ = Presión de operación

$P_S$ = Presión de seguridad

#### **1.3.7.5 Cálculo del espesor de la pared**

$$e = \frac{P * r}{S * E - 0,6P}$$

Ecuación 8

Donde:

R= Radio interno en pulgadas

E= Eficiencia de la soldadura, se toma el valor de 0,95

S= Es el esfuerzo del material. Para el acero AISI es 2850 lb/pulg<sup>2</sup> a la temperatura de diseño

#### **1.3.7.6 Cálculo del espesor de la tapa**

$$e_T = \frac{P * r}{2 * S * E - 0.2 * P} + C$$

Ecuación 9

Donde:

r = Radio (plg)

E = Eficiencia de la soldadura (95%)

S= Es el esfuerzo del material. Para el acero AISI es 2850 lb/pulg<sup>2</sup> a la temperatura de diseño

C = Margen de corrosión (1/16 plg)

#### **1.3.7.7 Altura de cámara de calefacción**

Considerando que la altura de la cámara de calefacción es el 80% de la altura total del cilindro se determina que:

$$h_c = \frac{H_T * 80}{100}$$

Ecuación 10

Dónde:

hc= Altura de la cámara de calefacción

H<sub>T</sub>= Altura total

#### **1.3.7.8 Volumen de la cámara de calefacción**

$$V_c = V_{ext} - V_{int} + V_{base}$$

Ecuación 11

Donde:

V<sub>c</sub>: volumen de la camisa

V<sub>ext</sub>: volumen externo



$V_{\text{int}}$ : volumen interno

$V_{\text{base}}$ : volumen de la base

#### **1.3.7.9 Sistema de Agitación**

##### **♣ Altura del agitador**

$$L = 1,86\phi t$$

Ecuación 12

Dónde:

$L$  = Altura del agitador (cm)

$\phi t$  = Diámetro del cilindro (cm)

##### **♣ Longitud del brazo**

Dentro del sistema de agitación el rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido o sólido circule a través del tanque y nuevamente retorne al rodete.

$$Lb = \frac{10}{11}\phi t$$

Ecuación 13

Dónde:

$Lb$  = Longitud del brazo (cm)

$\phi t$  = Diámetro del cilindro (cm)

#### ♦ **Diámetro del Rodete**

No existe una relación fija para el espesor del rodete generalmente varía desde un sexto a un dieciochoavos de la longitud del brazo

$$Er = \frac{1}{18} Lb$$

Ecuación 14

Donde:

Er = Espesor del rodete (cm)

Lb= Longitud del brazo (cm)

#### ♦ **Distancia entre el fondo del Tanque y el rodete**

Para que exista una buena mezcla debe existir un espacio adecuado entre el fondo del tanque y el rodete para que todas las corrientes provocadas por la agitación puedan homogenizar completamente el líquido o sólido en el proceso. Para ello generalmente se tiene la siguiente ecuación:

$$h_{fr} = \frac{1}{10} * h_u$$

Ecuación 15

Dónde:

$h_{fr}$  = Altura del fondo al rodete (cm)

$h_u$ =Altura útil (cm)

#### ♦ **Alto de la paleta**

$$A_p = \frac{1}{12} L_b$$

Dónde:

$A_p$ = Alto de la paleta (cm)

$L_b$ = Longitud del brazo (cm)

♦ **Diámetro utilizado por la paleta**

$$D_p = \frac{6}{7} * \phi_t$$

Donde:

$D_p$ : diámetro utilizado por la paleta (m)

$\phi_t$ : Diámetro del cilindro (m)

**1.3.7.10 Balance de masa y energía**

Para determinar la masa con la que se iniciara el proceso de preparación del inóculo es importante calcularlas, así como realizar un balance de energía durante el proceso.

♦ **Masa del estiércol de cerdo**

$$m_{ep} = \delta * V$$

Donde:

$m_{ep}$ = Masa de estiércol de cerdo en Kg

$\delta$  = Densidad de estiércol en Kg/m<sup>3</sup>

V = Volumen del estiércol

♣ **Masa del estiércol de caballo**

$$m_c = \delta * V$$

Ecuación 19

Donde:

$m_c$  = Masa del estiércol de caballo

$\delta$  = Densidad de estiércol en Kg/m<sup>3</sup>

V = Volumen del estiércol

♣ **Masa del lactosuero**

$$m_l = \delta * V$$

Ecuación 20

Donde:

$m_l$  = Masa del lacto suero

$\delta$  = Densidad de lacto suero en Kg/m<sup>3</sup>

V = Volumen del lacto suero

♣ **Masa del agua**

$$m_a = \delta * V$$

Ecuación 21

$m_a$  = Masa del agua

$\delta$  = Densidad de agua en Kg/m<sup>3</sup>

V = Volumen del agua

♣ **Masa del acero inoxidable**

$$m_{ai} = \delta * V$$

Ecuación 22

$$m_{ai} = \delta * (e * h * d * \pi)$$

Ecuación 23

**1.3.7.11 Cálculo del flujo de calor del sustrato**

Para calcular el calor que elimina el sustrato se realiza el siguiente balance:

$$Q_s = A * h * \Delta T$$

Ecuación 24

Donde:

Qs= Velocidad de transmisión de calor

A= Área del tanque fermentador

h= Coeficiente de transmisión de calor

$\Delta T$ = Gradiente de temperatura aritmética para fermentadores con camisa

**1.3.7.12 Cálculo de la viscosidad**

$$\mu = 2g * \frac{(\delta_{sol} - \delta_{liq}) * r^2}{9 * v}$$

Ecuación 25

Donde:

$\mu$ = Viscosidad

$g$ = Gravedad

$\delta_{sol}$  = Densidad del sólido (esfera)

$\delta_{liq}$ = Densidad de la mezcla

$r$ = Radio de la esfera

$v$ = Velocidad de recorrido de la esfera

#### **1.3.7.13 Cálculo del número de Nusselt**

$$Nu = 0.36 * Re^{0.67} * Pr^{0.33} * \left(\frac{\mu_R}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

Ecuación 26

Donde:

$Nu$ = Número de Nusselt

$Re$ = Número de Reynolds del agitador

$Pr$ = Número de Prandtl

#### **1.3.7.14 Cálculo del número de Prandtl $Pr$**

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{K}$$

Ecuación 27

Donde:

$Cp$ = Capacidad calorífica de la mezcla

$\mu$ = Viscosidad

$K$ = Conductividad térmica de la mezcla

#### **1.3.7.15      Cálculo del coeficiente de transmisión de calor**

$$h = \frac{Nu * K}{D_t}$$

Ecuación 28

Donde:

h= Coeficiente de transmisión de calor

Nu= Número de Nusselt

K= Conductividad térmica de la mezcla

#### **1.3.7.16      Cálculo del gradiente de temperatura aritmético**

$$\Delta T = \frac{2T_F - (T_e + T_s)}{2}$$

Ecuación 29

Donde:

$\Delta T$  = Gradiente de temperatura aritmética para fermentadores con camisa

$T_F$ = Temperatura ideal del fermentador

$T_e$ = Temperatura de entrada

$T_s$ = Temperatura de salida

#### **1.3.7.17      Cálculo del número de Reynolds**

$$Re = \frac{D_t^2 * N * \delta}{\mu}$$

Ecuación 30

Donde:

$D_t$ : Diámetro del agitador

$N_i$ : Velocidad de rotación del agitador en rps

$\delta$ : Densidad

$\mu$ : Viscosidad

#### **1.3.7.18 Cálculo de la potencia del rodete**

$$Np = \frac{P}{\delta * N^3 * Dr^5}$$

Ecuación 31

Donde:

Np: Número de potencia

P: Potencia del rodete

#### **1.3.8 Aplicaciones de los biorreactores en los tratamientos de aguas residuales**

Los biorreactores en la industria de la biotecnología, en general, son una pieza clave para su evolución y por supuesto no puede faltar en la biotecnología ambiental con un aporte significativo al tratamiento de las aguas residuales de curtiembre.

##### **1.3.8.1 Tratamiento anaerobio de residuos líquidos**

“La Digestión Anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO<sub>2</sub>, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas”<sup>14</sup>, lo que se obtiene de esta digestión se conoce como biogás que puede ser utilizado como una fuente de energía alternativa. Este tipo de procesos se han realizado desde hace varios años atrás pero últimamente han sido de especial atención debido a la eficiencia de su tratamiento y ha podido ser aplicado en fermentadores o biorreactores

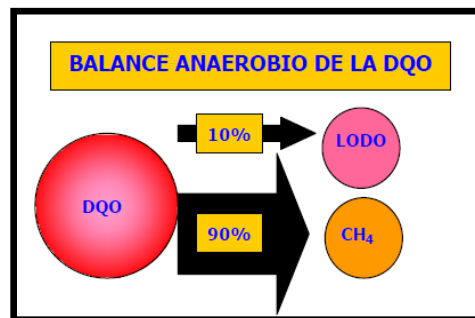
---

<sup>14</sup>RODRIGUEZ, J.A. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Colombia. Universidad el Valle.



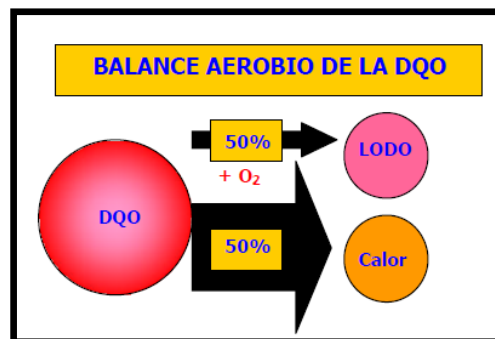
donde se proporciona las condiciones ideales para que el ambiente sea completamente anóxico.

Una forma de verificar que el tratamiento anaerobio es mucho más eficiente que un tratamiento aerobio es mediante el balance de DQO.



**Figura 3. Balance anaerobio de la DQO**

**Fuente:** RODRIGUEZ, J.A. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. 2002.



**Figura 4. Balance aerobio de la DQO**

**Fuente:** RODRIGUEZ, J.A. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. 2002.

Como podemos apreciar en las figuras de la parte superior con un tratamiento anaerobio se obtienen solamente un 10% de lodos que son estables y se obtiene además biogás, un producto beneficioso que puede ser aprovechado como combustible. Este proceso además ofrece ventajas como un “menor requerimiento

de nutrientes y menor consumo de energía ya que un tratamiento aerobio requiere gran cantidad de aireación para llevar cabo el proceso”<sup>15</sup>.

Podemos encontrar diferentes equipos que realizan este tipo de tratamiento como los que mencionamos en la tabla IV

**TABLA IV.** Reactores Anaerobios de Biomasa Suspendida y Fija.

<b>Biomasa Suspendida</b>	<b>Biomasa Fija</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Por lotes</li> <li>✦ Digestión seca</li> <li>✦ RCTA</li> <li>✦ Contacto</li> <li>✦ UASB</li> <li>✦ EGSB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Filtro anaerobio</li> <li>✦ Película fija</li> <li>✦ Lecho expandido</li> <li>✦ Lecho fluidizado</li> </ul>

**Fuente:** CHAMY, R. Avances en biotecnología ambiental: Tratamiento de residuos líquidos y sólidos. 2003.

Otro tipo de clasificación que se conoce es mediante generaciones, caracterizadas porque “en cada generación se reduce el tiempo de retención hidráulico (TRH) y mejora el contacto entre el lodo y el sustrato, lo cual significa menores volúmenes de reactor, costos más bajos, sistemas más estables y de más fácil operación”<sup>16</sup>.

Así podemos encontrar equipos como: “Lagunas Anaerobias, Tanque Séptico, Tanque Imhoff (primera generación); Filtros anaerobios de flujo ascendente y descendente y UASB (segunda generación); Reactores de lecho fluidizado o expandido (tercera generación)”.

La tabla V compara los distintos sistemas anaerobios y aerobios en cuanto a los parámetros operacionales más importantes.

<sup>15</sup>CHAMY, R.; Tratamiento de residuos líquidos y sólidos, Revista de Ingeniería Bioquímica (Chile).

<sup>16</sup>RODRIGUEZ, J.A. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Colombia. Universidad el Valle.

**TABLA V.** Parámetros Operacionales de Reactores Aerobios y Anaerobios.

	PROCESOS ANAEROBIOS				PROCESOS AEROBIOS	
	RTCA	Contacto	Filtro	UASB	Lodos act.	Biofiltro
VCO (kg DQO/m <sup>3</sup> .d)	0,5-3	2-8	2-10	1-15	0,5-2	1-3
TRH (d)	>8	0,2-8	0,2-4	0,2-8	1-5	0,05-0,2
TRS (d)	>8	1,5-8	20-300	30-300	10-30	>30
T (°C)	35-55	35-55	15-35	15-35	15-25	15-25
Remoción (%) DQO)	60	>90	>90	>90	>90	50-80

**Fuente:** CHAMY, R. Avances en biotecnología ambiental: Tratamiento de residuos líquidos y sólidos. 2003.

## 1.4 Industria de la curtiembre y sus contaminantes

“El curtido es el proceso químico mediante el cual se convierten los pellejos de animales en cuero”<sup>17</sup>. Para obtener este producto se requiere de procesos en los que intervienen diversos compuestos como álcalis, sales y hasta metales como el cromo que ayuda a curtir las pieles, como consecuencia se obtiene un gran nivel de contaminación hídrica debido a que la mayoría o casi todas las curtidurías no cuentan con una planta que trate estos desechos.

### 1.4.1 Procesos de producción

Generalmente son tres los procesos para la obtención de cuero descritos a continuación; aunque cada uno de estos conlleva varios subprocesos.

<sup>17</sup>ESPARZA E. Y GAMBOA N. Contaminación debida a la industria curtiembre

**Proceso de rivera.** Este proceso consiste en la eliminación de todo tipo de impurezas o materia innecesaria para los procesos posteriores, es decir aquí se elimina grasas, lana, pedazos de carne, sangre, estiércol además de la sal que se puede encontrar en algunas pieles que han sido conservadas. Las pieles son desinfectadas y limpiadas con diferentes soluciones y son preparadas para los posteriores procesos.

**Proceso de curtido.** Luego que las pieles fueron previamente preparadas se llega al proceso de curtición que tiene como fin la estabilización del colágeno; este proceso se puede realizar con cromo III y recibe el nombre de curtido mineral, así de igual forma se puede realizar con taninos y el proceso se llama curtido vegetal.

**Proceso de acabado.** Luego que la piel ha sido estabilizada y puede ser modificada según los artículos que se desee obtener, posteriormente para el teñido se usan anilinas o colorantes vegetales y se deja secar para retirar el exceso de humedad y se estira y por último se agregan capas de terminación y los detalles que se le quieran dar al producto.

#### ***1.4.2 Contaminantes de las aguas residuales de curtiembre***

La contaminación que producen las curtiembres puede ser muy variada debido todos los compuestos que son utilizados en todos los procesos, así tenemos por ejemplo: tensoactivos, sales cálcicas, carbonatos de calcio, sulfuros, cromo, ácidos, entre otros compuestos, además estas aguas pueden contener altos niveles de grasa, pelo, proteínas, estiércol y sangre. El proceso que consume la mayor cantidad de agua es el de rivera y por lo tanto el responsable del incremento significativo de la demanda bioquímica de oxígeno DBO. Otros de los parámetros que se pueden encontrar fuera de límite en estas aguas son DQO, sólidos disueltos y suspendidos, cromo trivalente y hexavalente, además del color y el olor que emanan estas aguas. A continuación se describe los procesos más detalladamente conjuntamente con los compuestos y/o sustancias utilizadas y sus respectivas consecuencias:

**TABLA VI. Operaciones del Proceso Curtiente**

	<b>Operación</b>	<b>pH</b>	<b>Composición del efluente</b>	<b>Consecuencias</b>
<b>PROCESO DE RIVERA</b>	Remojo	Neutro, ligeramente ácido o alcalino	Estiércol, suero de sangre, NaCl, CaCO <sub>3</sub> , proteínas solubles, naftalina, tensoactivos y otros preservantes, plaguicidas.	Altos niveles de DQO y sólidos suspendidos.
	Pelambre y calero	12 – 14	Pelo, grasas, proteína, queratina, sulfuros y cal, alto contenido de sólidos suspendidos.	Emisión de H <sub>2</sub> S
	Desencalado y rendido	7 – 8	Salas cálcicas solubles, pigmentos, proteínas solubles, alto contenido de nitrógeno por sales amoniacales.	Emisión de NH <sub>3</sub>
	Piquelado	1 – 3	NaCl, ácidos, biocidas,	Niveles elevados de sólidos disueltos.
	Desengrase	3 – 4	Disolventes, emulsionantes, altas concentraciones salinas, grasa.	Altos niveles de DBO y sólidos suspendidos y disueltos, residuos grasosos.
<b>PROCESO DE CURTIDO</b>	Curtición al cromo	3 – 4	Elevada salinidad, abundancia de sales de cromo, fibras en suspensión, grasas emulsionadas.	Alto contenido de cromo III y otros metales.
	Curtido vegetal y sintético	3 – 5	Tanino pirocatequínicos y pirogálicos, fenoles y polifenoles, sales neutras y fibras de cuero.	Disposición de lodos.
	Curtición con aceites y alternativos	10	Aceites oxidados, sales de aluminio, de circonio, de titanio, formaldehído, aceite de bacalao, (para gamuza) y glutaraldehídos	
<b>ACABADOS</b>	Neutralizado	5 – 6	Salas neutras de cromo	
	Recurtición, tintura y engrase	4 – 5	Grasas emulsificadas, colorantes, sales neutras y recurtiertes (de todo tipo)	Descarte de solventes, generación de material particulado atmosférico, sustancias tóxicas orgánicas.

**Fuente:** ESPARZA, E. Y GAMBOA, N. Contaminación debida a la industria curtiembre. 2001.

### **1.4.3 Metales pesados como contaminantes en la industria de la curtiembre**

El metal pesado que hemos considerado de gran importancia en esta investigación es el cromo debido a la cantidad en la que se encuentra presente en

las aguas residuales de curtiembre y por el peligro que representa para la salud humana y para la integridad del medio ambiente.

El proceso de curtido es el que mayor generación de cromo tiene en sus residuales, ya que el cromo es usado como medio de curtido; durante el proceso el cromo se encuentra en su estado iónico de  $3+$  ( $\text{Cr}^{3+}$ ) que es el que realmente realiza el trabajo de curtido, pero en el transcurso del tiempo que este  $\text{Cr}^{3+}$  se oxida convirtiéndose en  $\text{Cr}^{6+}$ , siendo este el de mayor riesgo ambiental como humano.

#### **1.4.4 Cromo**

“El Cromo (Cr) es un metal, número atómico 24, del grupo VIB de la tabla periódica y peso molecular 51,996. Blanco plateado, brillante, duro y quebradizo, resistente a la corrosión y se encuentra en estados de oxidación +2, +3, +6”<sup>18</sup>. El cromo trivalente se encuentra en forma libre en el ambiente y es necesario en la alimentación en pequeñas cantidades, sin embargo en grandes dosis es toxico; contrario al cromo III el cromo hexavalente es toxico incluso en pequeñas dosis y es altamente soluble en agua.

##### **1.4.4.1 Problemas asociados al cromo trivalente**

Como bien se conoce el cromo es un metal pesado que se utiliza en la industria de la curtiembre por su excelente capacidad de curtido, dando excelentes resultados en el proceso, pero existe una novedad efímera y que pocos la conocen, esta es que el  $\text{Cr}^{+3}$  a pesar de no provocar los mismos efectos el  $\text{Cr}^{+6}$ , también llega a ser tóxico e inclusive se ha habla de posibles efectos cancerígenos y por exposición continuas a este en el agua puede provocar daños a la piel.

---

<sup>18</sup>CUBEROS, E., PRIETO, E. Y RODRIQUEZ, Revista de Salud Pública. (Colombia).

Conocer los problemas que implica la descarga intolerable de  $\text{Cr}^{+3}$  a los recursos hídricos debe ser de gran interés, por lo que la investigación que se propone nos acerca a una solución viable y con un potencial eficiente en el proceso de recuperación de este para una recirculación o incluso una descarga.

No podemos dejar de nombrar que a pesar de que la piel se haya curtido con  $\text{Cr}^{+3}$  no garantiza que al estar expuestas las pieles a un medio alcalino u óxido genere la presencia de  $\text{Cr}^{+6}$ , hasta después el curtido. La industria de la curtiembre es catalogada como generadora de residuos peligrosos por lo que el manejo de sus residuos debe ser estricto y controlado por organismos reguladores del ambiente.

#### **1.4.4.2 Efectos sobre la calidad del aire**

Los principales efectos que se pueden evidenciar en el aire se deben al ácido sulfhídrico que emana un olor desagradable.

“La toxicidad del ácido sulfhídrico es semejante a la del ácido cianhídrico. A partir de 50 ppm, en las células receptoras del olfato provoca un efecto narcotizante, y las personas afectadas ya no perciben el hedor. Por encima de los 100 ppm puede ocurrir la muerte”<sup>19</sup>.

#### **1.4.5 Biodisponibilidad de metales pesados**

La acción directa de un metal pesado sobre el ser humano “ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos -SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos”<sup>20</sup>.

#### **1.4.6 Transformaciones mediadas por microorganismos**

Las transformaciones que un microorganismo puede provocar en un metal pesado dependen de las condiciones en las que se encuentre el metal, por ejemplo su

---

<sup>19</sup>ESPARZA, E. Y GAMBOA, N. Contaminación debida a la industria curtiembre, Revista de Química. (Perú).

<sup>20</sup>MUÑOZ E. Biotecnología y Sociedad.

estado de oxidación y del cuerpo en el que se encuentre. “Si el microorganismo transforma al metal de un estado sólido a una fase acuosa se trata de una biolixiviación, por el contrario hablaremos de una inmovilización del metal si éste se encuentra en una fase acuosa y el microorganismo lo transforma a un estado sólido”<sup>18</sup>.

A continuación se hablará con más detalle acerca de las transformaciones que puede realizar un microorganismo sobre un metal pesado.

#### 1.4.6.1 Movilización de los metales pesados

En un inicio se pensaba que este proceso era netamente químico pero finalmente se descubrió que era llevado a cabo por microorganismos, sean éstos bacterias u hongos, que solubilizan al metal que posteriormente puede ser recogido. Por ejemplo tenemos el caso de “la obtención de Cu por la oxidación de las menas de  $\text{Cu}_2\text{S}$  (calcocita) a  $\text{CuSO}_4$  por intermedio de la acción de las bacterias *Thiobacillus ferrooxidans* y *Thiobacillus thiooxidans*”<sup>18</sup>.

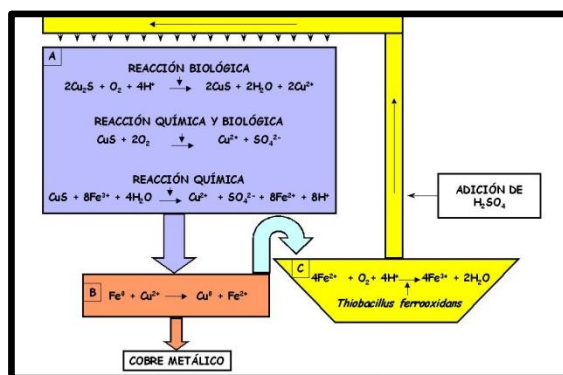


Figura 5. Proceso de biolixiviación aplicado en minería

Fuente: VULLO, D. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. 2003.

#### 1.4.6.2 Inmovilización de metales pesados

Dentro de la inmovilización de metales encontramos varios procesos en la que los microorganismos actúan para retener, recuperar o eliminar los metales pesados, estos procesos son los siguientes:



#### ♦ **Biosorción**

El proceso de biosorción se caracteriza porque el metal es adherido a la biomasa del microorganismo y se produce un intercambio iónico que se da gracias a ligandos que se encuentran en la superficie celular. Estos ligandos pueden ser: grupos carboxilos, hidroxilos, cetonas, aminas, entre otros.

#### ♦ **Bioacumulación**

A diferencia del proceso de biosorción en la bioacumulación el metal ingresa dentro del microorganismo donde “es secuestrado por la presencia de proteínas ricas en grupos sulfhidrilos llamadas metalotioneínas o también puede ser compartimentalizado dentro de una vacuola”<sup>21</sup>.

#### ♦ **Biomineralización**

“La biomineralización es la formación de precipitados metálicos insolubles por interacciones con productos del metabolismo microbiano”<sup>19</sup>.

Si bien es cierto los microorganismo tuvieron su auge cuando se descubrió su eficiencia en el tratamiento de contaminantes con derivados del petróleo y del petróleo mismo; pero con el tiempo se encontraron bacterias, hongos e incluso algas que actuaban en medios mineralizados precipitando los minerales contaminantes tanto del agua como del suelo, es así que se abrió paso a la biomineralización de los contaminantes con características propias de metales pesados.

#### **1.4.7 Tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados**

Con el pasar del tiempo el ser humano se ha interesado por el bienestar del medio ambiente y por consiguiente de la salud humana y como consecuencia de esto la preocupación de la sociedad se ha centrado en el tratamiento de las aguas

---

<sup>21</sup>MUÑOZ E. Biotecnología y Sociedad.

residuales de diferentes industrias que alteran las condiciones naturales en las que se desarrolla la vida.

Los metales pesados en las aguas ha causado una controversia gigantesca tal es el caso de las minas de fosfoyesos contaminadas con un uranio un metal radioactivo y altamente tóxico, la presencia de cromo en la industria de la minería. Estos casos han llamado la atención de investigadores llegando a encontrar en los procesos biotecnológicos ambientales la solución a muchos de estos problemas generados por los metales pesados en aguas residuales.

Una de las empresas con mayor índice de contaminación con metales pesados es la industria de la curtiembre la misma que no ha sido tomada en cuenta, quizá por la falta de atención o conocimiento del daño ocasionado a las aguas residuales de la industria y por ende a sus desfogues.

En sí no existen investigaciones sobre el tratamiento del cromo como contaminante de estas aguas, pero existen tratamientos del azufre como fuentes contaminantes de industrias que trabajan con metales pesados, lo cual nos ha llevado a una investigación sobre los avances de éstos que nos darán un breve preámbulo para nuestra investigación.

Como explicamos anteriormente los procesos anaerobios resultan efectivos en la remoción de contaminantes de las aguas residuales debido a las ventajas que presentan frente a otros tratamientos

### **1.5 Preparación del inóculo para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre**

El inóculo a prepararse para el tratamiento de aguas de curtiembre consiste en una agrupación de microorganismos en una fase semilíquida, que posteriormente será inculado en el biorreactor con el finalidad de la reducción del cromo hexavalente.

Cuando se desea realizar una fermentación es importante tener en cuenta parámetros de esterilización, logrando así un ambiente adecuado para el crecimiento de los microorganismos. Existen cuatro etapas para llevar a cabo un correcto proceso de fermentación.

- ◆ Preservación del inóculo
- ◆ Multiplicación del inóculo
- ◆ Cultivo de pre-fermentación
- ◆ Fermentación de producción”<sup>22</sup>

#### **1.5.1 Preservación del inóculo**

La preservación del inóculo es una etapa decisiva en la preparación de inóculos debido a que de esa forma se preserva la capacidad que tienen los microorganismos para formar el producto que deseamos; es decir se mantiene al inóculo en una fase de latencia o adaptación en la que no existe división celular y por consiguiente no hay producción de metabolitos primario y/o secundarios.

#### **1.5.2 Multiplicación del inóculo**

En esta etapa el inóculo que fue preservado se le acondiciona las condiciones medio requeridas, para que empiece el crecimiento celular y entre en una etapa de adaptación de los microorganismos al medio que trataran; la multiplicación del inóculo se la realiza paulatinamente según como los microorganismos se vayan adaptando al medio.

Podemos saber cuándo aumentar la cantidad de nutriente o la fuente del microorganismo cuando los resultados del crecimiento microbiano nos indiquen que se encuentran en la fase exponencial; así los microorganismos se reproducen más y el inóculo requiere multiplicarse hasta que se obtenga la cantidad que se necesita para inocularlo en el biorreactor.

---

<sup>22</sup>PAUCAR., A.; Tesis Ing. Biotecnología. Sangolquí Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la vida.

### **1.5.3 Cultivo de pre-fermentación**

La cantidad de microorganismos debe ser la adecuada para obtener el o los productos deseados. Siempre esta cantidad va a depender de la cantidad del medio a tratar.

**TABLA VII.** Porcentaje de Microorganismos para una Pre-Fermentación

Actinomicetos	5 - 10 %
Hongos.	5 - 10 %
Otras Bacterias	0,1 - 3,0 %

Fuente:<http://darwin.usal.es/profesores/pfmg/sefin/MI/tema14MI.html>

### **1.5.4 Fermentación en producción**

Esta fermentación se llevará a cabo en el biorreactor una vez inoculado el medio de cultivo, lo cual dará paso a la fermentación durante el tiempo que se considere necesario antes de una extracción de muestra para saber cómo va el proceso de fermentación.

En nuestro caso el inóculo será colocado en el biorreactor para que mediante agitación y condiciones como temperatura y ambiente anóxico los microorganismos interactúen adecuadamente con el agua a tratar. Una vez que los microorganismos estén actuando se deberá inocular, durante el tiempo de acción del biorreactor, el medio de nutriente y de microorganismo si estos fueren necesarios.

### **1.5.5 Suero láctico**

El suero láctico es un residuo producto de la obtención del queso y que ha sido considerado como un subproducto que puede ser usado en la producción de alimentos, bebidas y además puede ser usado en la alimentación de los animales.

De acuerdo al pH del suero podemos tener dos tipos “suero ácido (pH 4.6-4.8) y dulces (pH 5.9-6.4)”.

#### **1.5.5.1 Sueros ácidos**

Se producen en su mayor parte en la fabricación de caseína por la incorporación de un ácido que produce coagulación, el más empleado suele ser el clorhídrico.

#### **1.5.5.2 Composición química del suero láctico**

La composición química del suero láctico depende de muchos factores entre los que se encuentran los procesos de tratamiento a que se somete la leche entera y los procesos de manipulación y tratamiento a que se sujete el suero lácteo.

**TABLA VIII.** Composición Química del Suero Lácteo

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje</b>
Lactosa	4.5 – 5.2
Proteínas	0.7 – 1
Sales minerales	0.7 – 1
Ácido láctico	0.1 – 0.8
Grasas	Trazas
Vitaminas	Trazas
Agua	94

**Fuente:** ZAMORA, J. Depuración biotecnológica del suero lácteo empleando un sistema continuo mixto: anaerobio de lecho fijo – aerobio. 2006.

#### **1.5.6 Estiércol**

Estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos<sup>23</sup>. Este puede estar compuesto de las excretas de diferentes animales a la vez y tiene un gran contenido de nutrientes que han sido usados generalmente en la agricultura.

---

<sup>23</sup>GARCÍA A. Tesis Msc. Biotecnología. México Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

#### **1.5.6.1 Aplicaciones del estiércol**

Como mencionamos anteriormente el estiércol ha sido utilizado desde hace varios años atrás en la agricultura, este es aplicado directamente en la tierra y sirve como un fertilizante de la misma y ayudando a los sembríos ya que aporta gran cantidad de nutrientes; “puede ser aplicado directamente a la siembra o en conjunto con el compost y aporta gran cantidad de Nitrógeno”<sup>24</sup>.

Uno de los inconvenientes de esta técnica es la producción de malos olores y la proliferación de vectores que puede resultar molesto para el agricultor, sin embargo los beneficios son más y es una estrategia de cultivo 100% natural y efectiva que garantiza la calidad del producto que se obtiene.

#### **1.5.6.2 Ventajas del estiércol**

- ◆ Contiene gran cantidad de nutrientes.
- ◆ Cuando se aplica en la agricultura elimina semillas no deseadas o ciertos hongos o bacterias que causan enfermedades.
- ◆ Produce biogás en gran cantidad que puede ser usado como fuente de energía.

#### **1.5.6.3 Estiércol de cerdo**

Alejandro García en su tesis sobre Calidad alimentaria de la mezcla estiércol de cerdo y esquilmos agrícolas deshidratados al sol, para bovinos de engorda afirma que:

“El estiércol de cerdo contiene más de un 20% de proteína bruta y, a causa de este elevado contenido, se ha utilizado el estiércol de cerdo fresco y desecado, en trabajos experimentales, como pienso para las aves de corral, sin haberse observado efectos nocivos en la carne ni en los huevos de las aves. El mismo producto se ha venido empleando con provecho en las raciones de acabado de los cerdos a razón de un 15%. Se

---

<sup>24</sup>GARCÍA A. Tesis Msc. Biotecnología. México Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

ha utilizado también con buenos resultados para los ovinos, incluyéndolo en proporción del 40% en los gránulos”<sup>25</sup>.

#### ♦ Composición química del estiércol de cerdo

La composición del estiércol dependerá de la alimentación del animal así como de la cantidad que consume, generalmente la composición del estiércol de cerdo está constituida como se muestra en la tabla.

**TABLA IX.** Composición del Estiércol de Cerdo

Componente	Cantidad
Minerales	90%
Vitaminas	Únicamente 1,660 µL de vitamina A
Aminoácidos	Excretas ricas en Lys, Leu y Thr.

**Fuente:** GARCÍA A. Calidad alimentaria de la mezcla estiércol de cerdo y esquilmos agrícolas deshidratada al sol, para bovinos de engorda. 2000.

#### ♦ Composición microbiológica

El autor Alejandro García en su tesis sobre Calidad alimentaria de la mezcla estiércol de cerdo y esquilmos agrícolas deshidratados al sol, para bovinos de engorda manifiesta que:

“Las excretas de los animales contienen diversos microorganismos patógenos como: *Salmonella spp*, *Bacillus anthracis.*, *Mycrobacterium*spp., *Brucella*spp., *Rickettsia*spp., además de otros patógenos como: *Leptospira*monocytogenes, *Yersenia*enterocolítica, *clostridium*perfringes y *Klebsiella*spp. Pero se reporta que son las enterobacterias los microbios más dominantes una vez que han sido eliminados del tracto digestivo del cerdo,

---

<sup>25</sup>GARCÍA A. Tesis Msc. Biotecnología. México Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

donde el nivel de algunos otros microbios presentes como los estreptococos, estafilococos, hongos y levaduras permanece casi constante hasta el séptimo día<sup>26</sup>.

#### **1.5.6.4 Estiércol de caballo**

El estiércol de caballo está compuesto de grandes cantidades de materia orgánica así como también es rico en nitrógeno y es usado en la agricultura principalmente ya que proporciona fertilidad y nutrientes al suelo.

**TABLA X.** Composición del Estiércol Caprino

<b>COMPONENTE (por cada 100 kg de estiércol)</b>	<b>CANTIDAD %</b>
Materia seca	10
N	0.55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01
K <sub>2</sub> O	0.35
CaO	0.15
MgO	0.12
SO <sub>4</sub>	0.02

Fuente: SEPAR, 2004. Boletín Estiercoles

### **1.6 Los supuestos hipotéticos de la investigación**

Para poder entender la temática y el desarrollo del proyecto que se propone en esta investigación, desarrollaremos un breve análisis de los supuestos hipotéticos de la investigación de este proyecto.

#### **1.6.1 Impacto del biorreactor sobre las aguas residuales**

El proyecto que proponemos es una tecnología innovadora debido a que no ha sido aplicada anteriormente en el tratamiento de aguas residuales de curtiembre. La metodología a aplicar es eficaz ya que el inóculo está conformado por estiércol de cerdo y estiércol de caballo, que es la principal fuente de microorganismos depuradores del agua, y lactosuero que en este caso es la fuente de nutrientes

<sup>26</sup>GARCÍA A. Tesis Msc. Biotecnología. México Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.



para los microorganismos anaerobios; en conjunto con el agua residual se incorporaran en un biorreactor anaerobio batch alimentado; por medio de este equipo vamos a repotenciar las funciones depurativas de las bacterias del estiércol porcino y caprino, activándolas para que reduzcan el  $\text{Cr}^{3+}$ , además de DQO.

Periódicamente se realizan análisis de  $\text{Cr}^{3+}$ , DQO, acidez y coliformes totales para cerciorarnos de la eficiencia del proceso y se agregara la cantidad de inóculo necesaria con el fin de evitar que los microorganismos entren en una fase de latencia y el proceso colapse.

Las condiciones que se requieren para el éxito del proceso son un ambiente completamente anóxico, condiciones de pH de entre 3a 4.5 y una temperatura entre 30 a 40 °C, siendo a óptima 35°C, que son ambientes ideales para el pleno desarrollo de los microorganismos; otro factor influyente en el proceso es la agitación realizada por medio de paletas, esta agitación debe ser de 90 r.p.m. que aseguran la integridad de las células y una mezcla homogénea de todos los componentes.

Al ser un prototipo a escala de laboratorio la capacidad del biorreactor es de 6 L, siendo ocupado el espacio en porcentajes 90 % (4 L) de agua y 10% (1 L) del inóculo; es importante destacar que se inoculará una cantidad de 250 ml de mezcla de inóculo durante el proceso para alimentar al medio bacteriano.

Nuestro biorreactor ha llegado a ser tan efectivo en la remoción de los contaminantes de la industria curtiembre ya que se ha logrado bajar niveles de cromo hexavalente como de demanda química de oxígeno DQO hasta en un 95%; esto demuestra niveles altos de calidad tanto en el equipo, sustrato y el proceso en sí.

Hemos optado por este proceso por ser innovador, práctico y además abre nuevas posibilidades sobre los tipos de tratamientos que pueden ser usados para la depuración de aguas residuales no solamente de curtiembres sino de varias

actividades industriales que descargan residuos líquidos con diferentes tipos de contaminantes.

Es así que nuestro proyecto contribuye con la remediación ambiental y siendo directamente nuestro entorno el beneficiado, así como también las industrias que se dedican a esta actividad y la sociedad en sí.

## **CAPITULO II**

### **2 PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1 Lugar de la investigación**

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA y en el laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias.

#### **2.2 Métodos y técnicas**

Las variables y parámetros que se utilizaron en el diseño y construcción del biorreactor así como también las condiciones óptimas en la que se debe encontrar el sustrato se realizaron utilizando los siguientes métodos y técnicas detallados a continuación.

##### **2.2.1 Métodos**

Para el diseño y construcción del biorreactor requerimos de métodos inductivos y deductivos.

##### **2.2.1.1 Métodos inductivos**

Debido a la gran problemática que representa la industria de la curtiembre en nuestro país se decidió desarrollar un proyecto innovador que requiere de materiales e instrumentos accesibles; tal es el caso del uso de estiércol y lactosuero como inóculo que provee una gran fuente de bacterias anaerobias que precipitan metales pesados, en nuestro caso el cromo.

Así pues se tomó una muestra de agua de la curtiembre El Alce ubicada en el cantón Guano y de la que se conocieron mediante análisis de laboratorio parámetros como pH, DQO, sólidos suspendidos y cromo trivalente.

### **2.2.1.2 Métodos deductivos**

De acuerdo con estudios realizados a nivel mundial anteriormente sobre bacterias, que en condiciones adecuadas pueden precipitar metales pesados y posteriormente se pueden recuperar. Debido a las condiciones necesarias de los microorganismos se pudo acoplar con el uso de un biorreactor anaerobio en fase líquida.

### **2.2.2 Técnicas**

Las técnicas utilizadas para el desarrollo consecutivo de este proyecto se describen a continuación:

#### **2.2.2.1 Técnicas de laboratorio**

Éstas nos ayudaron a conocer el estado inicial tanto del inóculo como del agua a tratar. A continuación describimos detalladamente cada uno de éstos.

## **2.3 Preparación del inóculo para el tratamiento del agua residual de curtiembre**

### **2.3.1 Materiales**

- ♣ Estiércol (mezcla de caballo con cerdo)
- ♣ Lacto suero
- ♣ Envase de vidrio de 100mL

### **2.3.2 Procedimiento**

Una vez que tenemos los materiales iniciamos la preparación con 500 g de estiércol de cerdo y 500 g de estiércol de caballo y 250 mL de lacto suero, los mezclamos en un envase de vidrio y lo dejamos reposar durante una semana. Este procedimiento es importante para el éxito del tratamiento ya que en ese tiempo el mix bacteriano se adapta logrando la simbiosis deseada entre *lactobacilus* y bacterias sulforeductoras, en el mismo inóculo preparado colocamos 100 mL de agua de curtiembre para que el mix bacteriano vaya adaptándose al

tratamiento del agua residual. Realizamos entonces luego de una semana un análisis microbiológico para conocer el estado de las bacterias.

## **2.4 Análisis del agua residual de curtiembre**

### **2.4.1 Determinación de cromo trivalente**

Para la determinación de cromo trivalente ocupamos los siguientes métodos y técnicas:

**TABLA XI.** Determinación de Cromo Trivalente

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>TÉCNICA</b>
El cromo es una de las sustancias usadas para curtir la piel. Debido a las altas cantidades que se requieren de este material representa unos de los principales problemas en las aguas residuales de curtiembres.	Cálculo	Colorimetría

**Fuente:** Autoras.

### **2.4.2 Determinación de DQO**

Para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno ocupamos los siguientes métodos y técnicas:

**TABLA XII.** Determinación de Demanda Química de Oxígeno

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>TÉCNICA</b>
Debido a contaminantes como grasas, sangre, taninos, aceites la demanda química de oxígeno generalmente se encuentra en niveles extremadamente altos que representan un peligro para el ambiente	APHA 5220 D	Método de reflujo cerrado

**Fuente:** Autoras.

### **2.4.3 Determinación de sólidos suspendidos**

Para la determinación de sólidos suspendidos ocupamos los siguientes métodos y técnicas:

**TABLA XIII.** Determinación de Sólidos Suspendidos

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>TÉCNICA</b>
Los sólidos suspendidos presentes en las descargas de líquidos tienden a sedimentar y depositarse en los cursos hídricos donde son descargados.	APHA 2540 D	Gravimetría

**Fuente:** Autoras.

### **2.4.4 Determinación de pH**

Para la determinación de pH ocupamos los siguientes métodos y técnicas:

**TABLA XIV.** Determinación de pH

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>TÉCNICA</b>
La determinación del pH de una sustancia consiste en la medición del potencial de hidrógeno de la misma.	Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Potenciometría

**Fuente:** Autoras.

## **2.5 Análisis del agua en proceso de remediación**

### **2.5.1 Determinación de ácido láctico**

Para la determinación de ácido láctico ocupamos los siguientes métodos y técnicas:

**TABLA XV.** Determinación de Ácido Láctico

FUNDAMENTO	MÉTODO	TÉCNICA
El ácido láctico es un producto orgánico que se encuentra presente en cantidades considerables en el suero de leche. Éste puede servir como fuente de carbono de algunas bacterias.	Standard Methods No. 2310 B	Titulación

Fuente: Autoras.

### **2.5.2 Determinación de coliformes totales**

Para la determinación de coliformes totales ocupamos los siguientes métodos y técnicas:

**TABLA XVI.** Determinación de Coliformes Totales

FUNDAMENTO	MÉTODO	TÉCNICA
El análisis de coliformes tiene como fin conocer la cantidad presente de biomasa en el proceso para poder realizar una curva de crecimiento.	Standard Methods No. 9222 B	Membrana filtrante

Fuente: Autoras.

Además se realizaron análisis de  $\text{Cr}^{3+}$  y DQO (tablas XI y XII).

## **2.6 Diseño del biorreactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre**

El diseño del biorreactor se lo realizó con la utilización de fórmulas y posteriormente con ayuda de software adecuados. A continuación se detalla materiales y el procedimiento realizado.

### **2.6.1 Materiales**

- ♦ Solid Work
- ♦ Auto Cad

### **2.6.2 Procedimiento**

Mediante el uso de fórmulas preestablecida se inició el dimensionamiento del biorreactor. Se empieza el diseño con un volumen de 6 L y un diámetro de 20 cm debido a la facilidad que representa su manipulación tanto en el proceso de biorremediación como en posteriores prácticas de laboratorio con fines didácticos; a partir de este valor se logra calcular los demás parámetros. Una vez realizados los cálculos se procede al diseño computarizado con la ayuda de las herramientas informáticas como Auto Cad y Solid Work.

En Solid Work se trabaja la resistencia del biorreactor con esas dimensiones a la temperatura y presión generada durante el tratamiento.

### **2.6.3 Cálculos para obtener el diseño del biorreactor**

#### **♦ Cálculo de la altura**

Para poder obtener el valor de la altura del fermentador despejamos la altura a partir de la ecuación 3 con el volumen conocido (dato dado). Una vez despejado nos queda la ecuación 4 con la que obtenemos la altura.

#### **♦ Cálculo de la altura de seguridad**

El cálculo de la altura de seguridad es indispensable para evitar inconvenientes en el caso de sobrepasar el volumen indicado. Se obtiene mediante la ecuación 5

#### **♦ Cálculo de la altura total**

La altura total no es más que la suma entre la altura del tanque y la altura de seguridad y se la obtiene mediante la ecuación 6.



#### ♦ **Cálculo de la presión total**

Para el cálculo de la presión tomamos como referencia la Ecuación 7 nombrada en el capítulo I. Especificando que las presiones de operación y de seguridad son valores dados.

#### ♦ **Cálculo del espesor de la pared**

Para calcular el espesor de la pared del fermentador utilizamos la ecuación 8 citada en el capítulo I.

#### ♦ **Cálculo del espesor de la tapa**

Para el cálculo del espesor de la tapa se utilizó la ecuación 9 donde se considera parámetros como la presión de operación para evitar inconvenientes.

#### ♦ **Altura de cámara de calefacción**

Tomando en cuenta una altura de la cámara de calefacción del 80% calculamos la altura total de la camisa de calefacción con la ecuación 10 mencionada en el capítulo I.

#### ♦ **Volumen de agua en la cámara de calefacción**

Para realizar el cálculo del volumen de agua de la camisa de calefacción utilizamos la Ecuación 11 mencionada en el capítulo I de esta investigación.

#### ♦ **Sistema de Agitación**

Se debe tener un sistema de agitación que permita mantener una mezcla continua y adecuada del sustrato con el agua de curtiembre, por lo que en esta sección se determinara la metodología para construirlo.

#### ♦ **Altura del agitador**

Se necesita una altura del agitador para poder incorporarlo, conjuntamente con el motor, a la tapa del fermentador y esto lo logramos con la ecuación 12 citada en el capítulo anterior.

#### ♦ **Longitud del brazo**

La longitud del agitador nos ayudará a determinar en el largo del mismo mediante la ecuación 13 del capítulo anterior.

#### ♦ **Diámetro del rodete**

La ecuación 14 de capítulo anterior nos ayuda a conocer el diámetro ideal que debe tener el rodete.

#### ♦ **Distancia entre el fondo del Tanque y el rodete**

La distancia entre el fondo del fermentador y el rodete es importante para obtener una buena mezcla y que el diseño mecánico del biorreactor se mantenga sin dañar las paletas o el tanque; por lo que utilizamos la ecuación 15.

#### ♦ **Alto de la paleta**

Todo sistema de agitación debe tener paletas para realizar el proceso de agitación, es por eso que calculamos las dimensiones de las paletas mediante la ecuación 16 citada en el capítulo anterior.

#### ♦ **Diámetro utilizado por la paleta**

Este cálculo lo obtenemos aplicando la ecuación 17 citada en el capítulo I.

#### ♦ **Forma de la paleta**

Las paletas que se utilizan en este biorreactor son planas debido a que se trata de una mezcla líquida y poco viscosa y este tipo de paleta brinda una uniformidad en el proceso de mezclado y previene que el sustrato y por ende los microorganismos sufran un deterioro o su muerte.

#### ♦ **Balance de masa y energía**

Para determinar la masa con la que se iniciara el proceso de preparación del inóculo es importante calcularlas, así como realizar un balance de energía durante el proceso.

#### ♦ **Balance de masa**

Como en todo equipo o proceso sistémico se da un balance de masa este no es la excepción, por lo que es conveniente realizar un balance de masa que nos permita conocer en teoría la cantidad de masa generada en el proceso como la utilizada, para obtener un resultado eficiente en la investigación.

#### ♦ **Masa del estiércol de cerdo**

Calculamos la masa del estiércol de cerdo que utilizaremos en el reactor mediante la ecuación 18 del capítulo I. utilizando el volumen de inóculo a preparar.

#### ♦ **Masa del estiércol de caballo**

Calculamos la masa del estiércol de cerdo que utilizaremos en el reactor mediante la ecuación 19 del capítulo I. Utilizando el mismo volumen de inóculo del ítem anterior.

#### ♦ **Masa del lacto suero**

Calculamos la masa del estiércol de cerdo que utilizaremos en el reactor mediante la ecuación 20 del capítulo I. Utilizando el mismo volumen de inóculo del ítem anterior.

#### ♦ **Masa del agua**

La masa del agua que se calculara será tomando en cuenta la densidad del agua de curtiembre y utilizando la ecuación 21 mencionada en el capítulo I.

#### ♦ **Masa del acero inoxidable**

La densidad del acero inoxidable es calculada con la ecuación 23 mencionada en el capítulo I de esta investigación.

#### ♦ **Determinación de la velocidad de transmisión de calor**

Para determinar la velocidad de transmisión de calor aplicamos las ecuaciones 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 citadas en el capítulo I de la investigación. Debemos encontrar el área del fermentador, la temperatura aritmética del fermentador; además del número de Reynolds, Prandtl y Nusselt para los cálculos adicionales para encontrar la velocidad de transmisión de calor.

#### ♦ **Cálculo de la potencia del rodete**

Para determinar la potencia con la que debe trabajar el rodete aplicamos la ecuación 31 del capítulo I, con la que se obtendrá el valor teórico de la potencia que debe tener el rodete para agitar la mezcla.

## **2.7 Datos adicionales**

Indicamos algunos datos adicionales que nos permiten obtener un diseño y equipo moldeado y con mayor resistencia al uso.

### **2.7.1 Datos adicionales para calcular el espesor de la lámina de acero inoxidable**

**TABLA XVII.** Datos Espesor de la Lámina de Acero

<b>NOMBRE</b>	<b>DATO</b>	<b>UNIDAD</b>
Esfuerzo del material	2850	Lb/plg <sup>2</sup>
Eficiencia de la soldadura	95	%

**Fuente:** Autoras.

### **2.7.2 Datos adicionales para el balance de masa**

**TABLA XVIII.** Datos Balance de Masa

<b>NOMBRE</b>	<b>DATO</b>	<b>UNIDAD</b>
Densidad de la mezcla	1070	Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad de la mezcla	0.49	Kg/m.s
Conductividad térmica de la mezcla	2.52	W/m°C
Capacidad calorífica de la mezcla	3.3 x 10 <sup>6</sup>	J/Kg°C

**Fuente:** Autoras.

## **2.8 Construcción del biorreactor anaerobio**

### **2.8.1 Materiales construcción del biorreactor**

**TABLA XIX.** Materiales Usados en la Construcción del Biorreactor

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Características</b>
Plancha de acero inoxidable para el cuerpo y camisa del reactor	1	2 mm de espesor
Retazo de eje de acero inoxidable	1	De 1 cm de diámetro
Retazos de acero inoxidable para las paletas	5	De 1.5 x 8 cm.
Plancha de acero inoxidable para la construcción de la tapa	1	3 mm de espesor
Pernos de acero inoxidable	8	-
Motor	1	De 0.5 hp, trifásico
Inversor de velocidad	1	Trifásico

**Fuente:** Autoras.

### **2.8.2 Procedimiento**

Con los planos del dimensionamiento se procedió a construir el biorreactor, la elección del espesor del acero inoxidable se lo realizó con la ayuda del software Solid Work, el mismo que nos permite saber si resistirá a las condiciones del medio. Con la ayuda de suelda y prensa se logró dar forma al cuerpo y camisa del biorreactor.

El sistema de agitación está constituido por 4 paletas, para dar un mejor mezclado, en acero inoxidable de 2 mm de espesor y de un eje en acero inoxidable de 1 cm de diámetro. De acuerdo a los cálculos anteriormente realizados se dio la medida adecuada para las paletas y la longitud requerida para el eje que posteriormente fue acoplado a la tapa y al motor para que con la ayuda del inversor el sistema de agitación cumpla con una agitación adecuada para el medio.

El número de revoluciones adoptadas en este proceso fue de 90 revoluciones por minuto ya que se trata de una mezcla líquida y de esa forma los microorganismos no están expuestos a sufrir daños o morir.

### **2.8.3 Automatización de los parámetros de medición del biorreactor**

En el funcionamiento correcto de un biorreactor la parte electrónica es indispensable al proporcionar la información necesaria para controlar que el proceso marche adecuadamente.

#### **2.8.4 Materiales automatización**

**TABLA XX.** Materiales Requeridos en la Automatización

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Características</b>
Microcontrolador	1	16F87A
Sensor (termistor)	1	NTC
Regulador	1	7805
Capacitores cerámicos	4	100 Nf
Relé	1	60 A 12 V
Transistor	1	2N3904
Resistencia	1	4.7 KΩ
Optocoplador	1	4N2S
Resistencia	2	220 V
Resistencia	1	10 K
Cristal	1	20 MHz
Calentador	1	Sumergible de 1200 W
PH metro	1	-

**Fuente:** Autoras.

#### **2.8.5 Procedimiento**

##### **2.8.5.1 Temperatura**

La principal función que realiza el sensor es transmitir un valor de temperatura al circuito electrónico que está compuesto por un microcontrolador, que a su vez se encarga de transmitir el valor detectado por el sensor a una pantalla LCD para que pueda ser leído.

El rango de temperatura en el que trabaja nuestro sistema es de 30 a 40 °C, el circuito ha sido programado para que mediante la temperatura medida por el sensor el calentador sumergible se encienda o apague y así mantener el nivel de temperatura óptima para el proceso, se debe mencionar que el ascenso o descenso de la temperatura no es brusco sino que requiere de un tiempo considerable lo que brinda una mejor seguridad en el sistema.

### **2.8.5.2 pH**

En lo que se refiere a pH se optó por un pH metro portátil, que previamente a su uso fue calibrado a pH ácido por las condiciones requeridas en el proceso.

## **2.9 Tratamiento del agua residual de curtiembre en el biorreactor anaerobio**

Una vez listo los equipos y el inóculo colocamos en el biorreactor el agua y el inóculo para empezar el tratamiento, lo sellamos y dejamos trabajar al equipo durante cuatro semanas. Cada semana se inocula 250 mL de inóculo manualmente y al mismo tiempo se toma una muestra para realizar los respectivos análisis. Controlamos diariamente la temperatura y el pH de la mezcla, por medio de los sensores.



## CAPÍTULO III

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Resultados obtenidos en la caracterización físico-química del agua residual de curtiembre

Posterior a un análisis de laboratorio de la muestra tomada de una curtiembre se obtuvieron los siguientes resultados.

**TABLA XXI. Resultados caracterización físico-química agua residual pre-tratamiento**

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Sólidos suspendidos	mg/L	6180
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	7450
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	5,63
Cromo trivalente	mg/L	2613,27

**Fuente:** Autoras.

Como se puede evidenciar en la tabla los valores iniciales de DQO y cromo trivalente se encuentran en valores sumamente elevados. En la industria de la curtiembre se pueden evidenciar valores de  $\text{Cr}^{3+}$  y DQO en rangos de  $\pm 1000$  mg/L en cada caso, antes de su descarga.

#### 3.2 Cálculos del balance de masa global

Para determinar el balance global del biorreactor es necesario calcular el flujo global; en el caso de nuestro biorreactor, que corresponde a un tipo fed-batch, el flujo global calculado es igual al flujo de entrada y se resuelve como el balance global del sistema.

$$F(t) = \frac{dV}{dt}$$

$$F(t) = \frac{6 \times 10^{-3}}{2764800}$$

$$F(t) = 2.17 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.3 Resultados obtenidos en la caracterización del agua residual durante y después del tratamiento

El proceso fue monitoreado semanalmente durante un periodo de 4 semanas obteniéndose los siguientes resultados.

#### 3.3.1 Resultados del inóculo pre-tratamiento

**TABLA XXII.** Resultados del Inóculo Pre-Tratamiento

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	RESULTADO	UNID.
Masa del estiércol (porcino y caprino)	$m_e$	1,03	Kg
Masa del lactosuero	$m_l$	1,024	Kg
Masa del agua	$m_a$	3,996	Kg
Masa del acero inoxidable	$m_{ac}$	12,57	Kg
Balance global	Fe	$2.17 \times 10^{-9}$	$\text{m}^3/\text{s}$

**Fuente:** Autoras.

Durante el periodo de tratamiento del agua residual de curtiembre se registraron las lecturas de pH y temperatura con el fin de controlar el proceso.

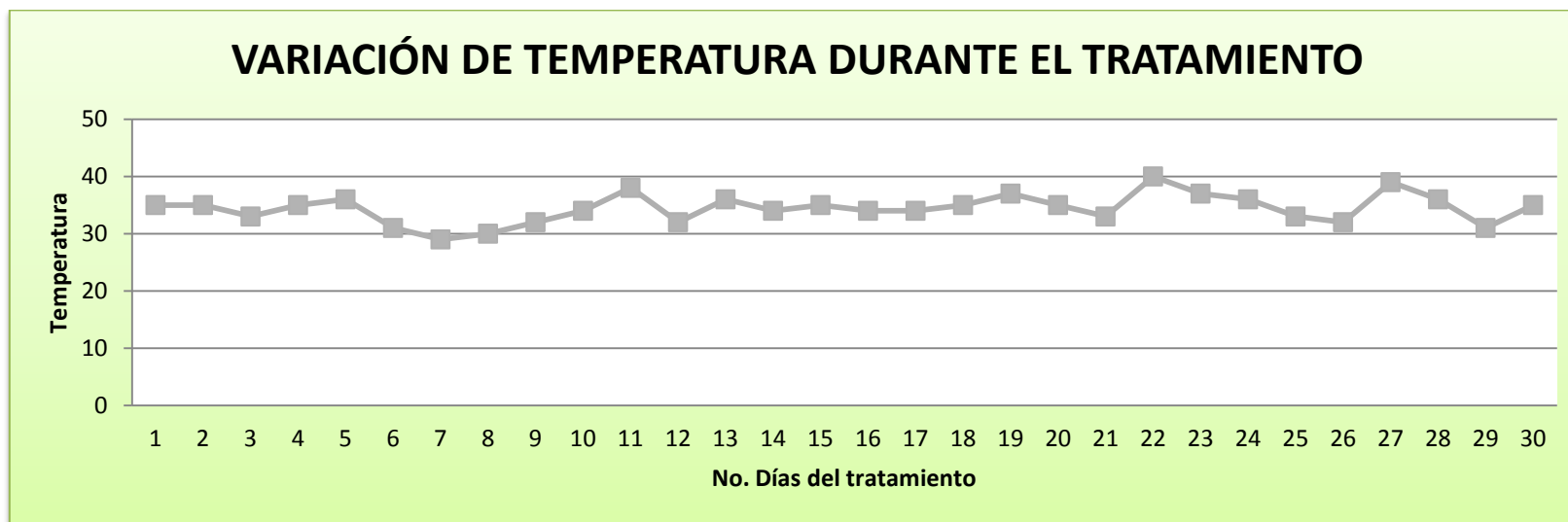
### 3.3.2 Datos de lecturas diarias de pH y temperatura

**TABLA XXIII.** Datos Lecturas de pH y Temperatura

DÍA	pH	TEMPERATURA
1	3,6	35
2	3,8	35
3	4	33
4	4	35
5	3,8	36
6	3,8	31
7	3,2	29
8	3,3	30
9	3,3	32
10	3,7	34
11	4,1	38
12	4,3	32
13	3,4	36
14	4,8	34
15	5,1	35
16	3,4	34
17	3,9	34
18	3,7	35
19	3,3	37
20	3,4	35
21	3,3	33
22	3,5	40
23	3,9	37
24	4,1	36
25	3,4	33
26	3	32
27	3,6	39
28	3,3	36
29	4,1	31
30	4,5	35

**Fuente:** Autoras.

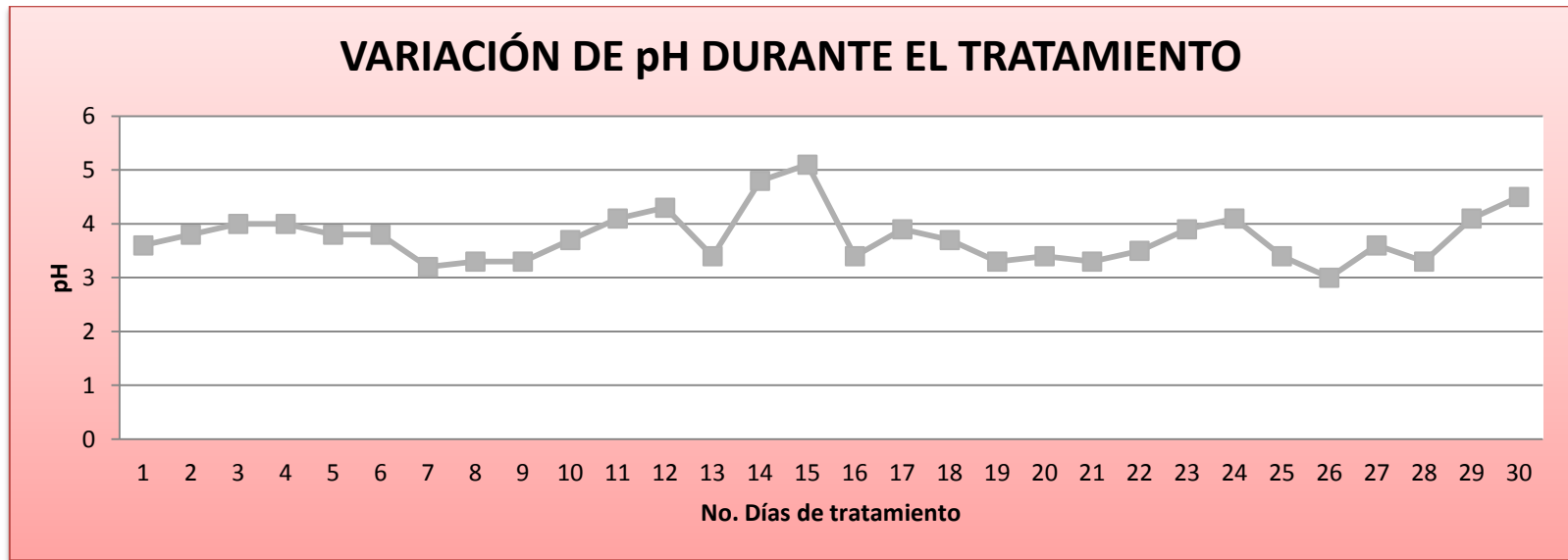
**GRÁFICA 1.** Variación de Temperatura



**Fuente:** Autoras.

La variación de temperatura registrada durante el tratamiento oscila entre 30 y 40 °C manteniéndose un promedio de 35 °C desde el día 13 hasta el día 20 del tratamiento.

**GRÁFICA 2.** Variación de pH



**Fuente:** Autoras.

El rango de pH óptimo en que se desarrolla el mix bacteriano se encuentra entre 3 y 4,5. En el gráfico podemos observar que durante casi todo el tratamiento se mantuvo en este rango lo que nos garantiza la eficiencia del proceso.

### 3.3.3 Resultados obtenidos en el proceso de biorremediación

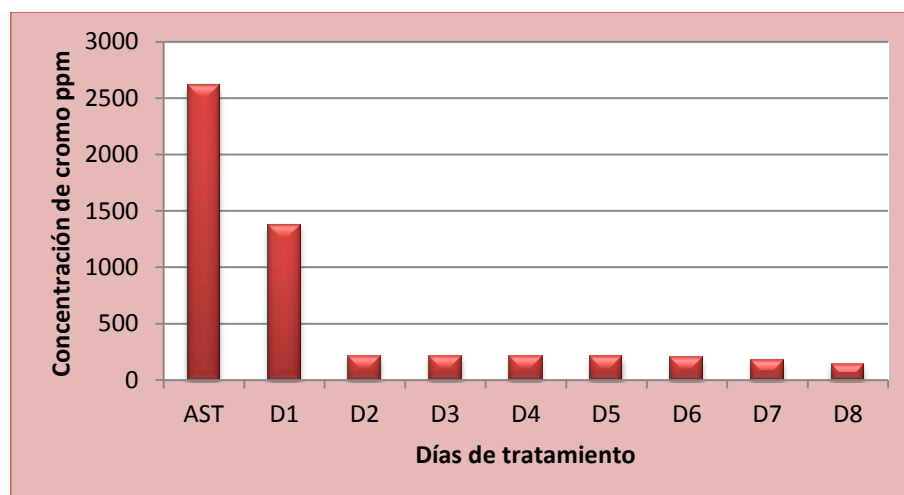
Los parámetros de interés para su reducción son  $\text{Cr}^{3+}$  y DQO, por lo cual, durante el tratamiento obtuvimos los siguientes resultados.

**TABLA XXIV.** Resultados Obtenidos de Cromo Trivalente y DQO

	<b>CROMO (<math>\text{Cr}^{3+}</math>) mg/L</b>	<b>DQO mg/L</b>
AST	2613,27	7450
D1	1375	30000
D2	213,5	52250
D3	213,1	32500
D4	212,7	13220
D5	209	15500
D6	201,22	17920
D7	175	14000
D8	137,04	10100

Fuente: Autoras.

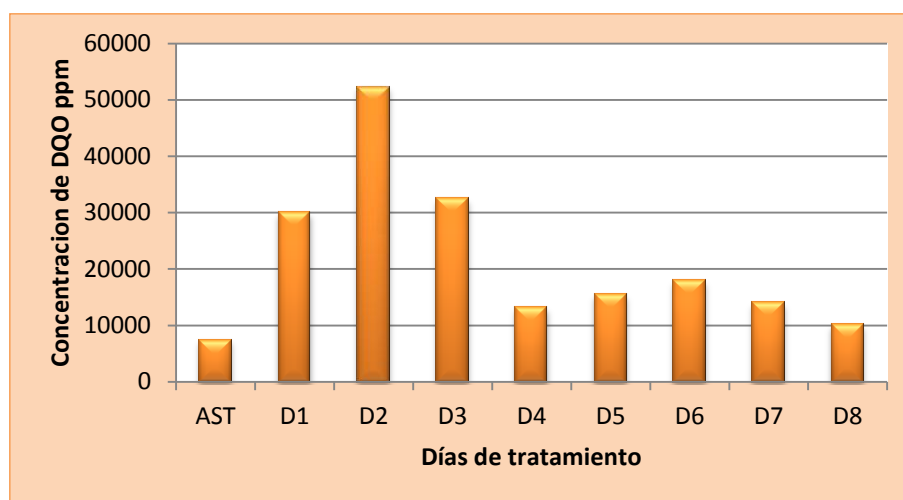
**GRÁFICA 3.** Reducción de Cromo Trivalente



Fuente: Autoras.

La reducción más significativa de cromo que se puede evidenciar es de aproximadamente 2000 ppm; posterior a eso hay una reducción más proporcional que va decreciendo hasta disminuir en rangos de cantidades más pequeñas.

**GRÁFICA 4.** Variación de DQO



**Fuente:** Autoras.

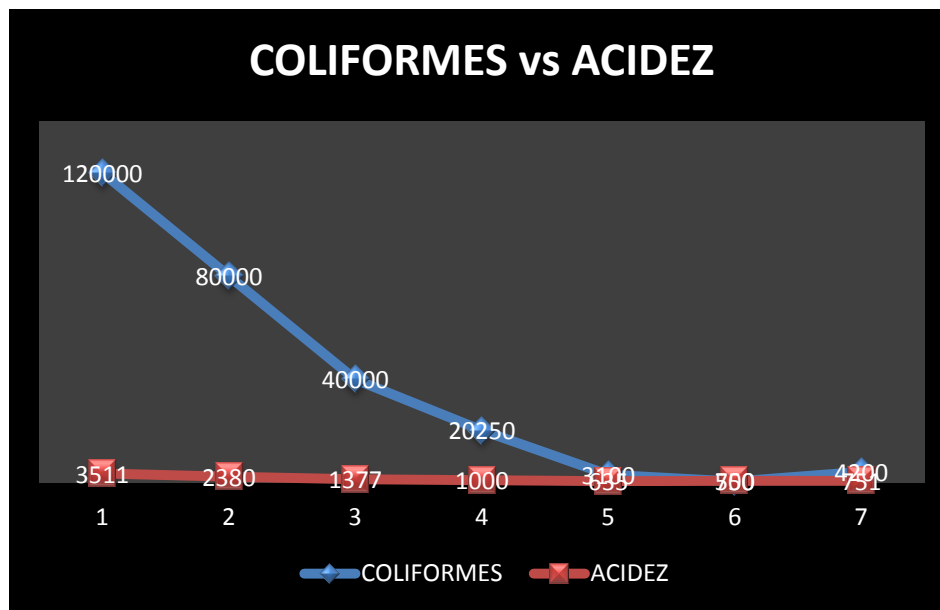
En la gráfica claramente al inicio del proceso se distingue un aumento sumamente alto de la Demanda Química de Oxígeno y de igual forma una reducción brusca y posteriormente se evidencia una reducción paulatina del parámetro, sin embargo con relación al inicio la DQO ha aumentado.

**TABLA XXV.** Resultados de Coliformes Vs. Acidez

COLIFORMES TOTALES	ACIDEZ
120000	3511
80000	2380
40000	1377
20250	1000
3100	635
500	750
4200	751

**Fuente:** Autoras.

**GRÁFICA 5.** Resultado de coliformes vs. Acidez



Fuente: Autoras.

La acidez del medio nos permite saber el estado de las sulforeductoras ya que estas se desarrollan en este ambiente aumentando la fase de muerte de las coliformes que viven en ambientes neutros.

Existe una disminución de coliformes la misma que nos permite saber que las sulforeductoras presentes en el estiércol crecen cuando la acidez aumenta, al final se distingue una proporcionalidad que se genera ya que no se inocula la misma cantidad medio ácido que al inicio del tratamiento.

### 3.4 Cálculos y resultados obtenidos en la implementación del biorreactor

#### 3.4.1 Cálculos para el dimensionamiento del biorreactor

##### ♦ Cálculo de la altura

Para el cálculo de la altura usamos la ecuación 4:

Donde asumimos un volumen de 6 litros y un diámetro del reactor de 20 cm



$$h_u = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$h_u = \frac{6}{\pi(0.1)^2}$$

$$h_u = 0.191 \text{ m}$$

$$h_u = 19.1 \text{ cm}$$

♦ **Altura de seguridad**

$$h_s = h * 30\%$$

$$h_s = 19.10 * 0.30$$

$$h_s = 5.73 \text{ cm}$$

♦ **Altura total del reactor**

$$H_T = h_u + h_s$$

$$H_T = 19.10 + 5.73$$

$$H_T = 24.83$$

Pero por facilidad de construcción la altura total es

$$H_T = 25 \text{ cm}$$

♦ **Cálculo de la presión total**

$$P = P_o + P_s$$

$$P = 10.64 \text{ PSI} + 1.6 \text{ PSI}$$

$$P = 12.25 \text{ PSI}$$

La presión de operación  $P_o$  en nuestro caso es la presión atmosférica

La presión de seguridad es el 80% de la presión atmosférica.

♦ **Cálculo del espesor de la lámina**

$$e = \frac{P * r}{S * E - 0,6P}$$

$$e = \frac{12.24 * 3.94}{2850 * 0.95 - 0.6 * 12.24}$$

$$e = 0.18 \text{ plg}$$

$$e = 0.5 \text{ mm}$$

♦ **Cálculo del espesor de la tapa**

$$e_T = \frac{P * r}{2 * S * E - 0.2 * P} + C$$

$$e_T = \frac{12.24 * 3.94}{2 * 2850 * 0.95 - 0.2 * 12.24} + \frac{1}{16}$$

$$e_T = \frac{48.23}{5412.55} + \frac{1}{16}$$

$$e_T = 0.071 \text{ plg}$$

$$e_T = 1.81 \text{ mm}$$

♦ **Altura de la cámara de calefacción**

Considerando que la altura de la cámara de calefacción es el 80% de la altura total del cilindro se determina que:

$$h_c = \frac{H_T * 80}{100}$$

$$h_c = \frac{20 * 80}{100}$$

$$h_c = 16 \text{ cm}$$

♦ **Volumen de agua en la cámara de calefacción**

$$V_c = V_{ext} - V_{int} + V_{base}$$

$$V_c = (\pi * r_{ext}^2 * h_c) - (\pi * r_{int}^2 * h_c) + (\pi * r_{ext}^2 * h_u)$$

$$V_c = (\pi * 0.17^2 * 0.16) - (\pi * 0.10^2 * 0.16) + (\pi * 0.17^2 * 0.07)$$

$$V_c = 0.0145 - 5.03 \times 10^{-3} + 6.355 \times 10^{-3}$$

$$V_c = 9.83 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_c = 9.83 L$$

♦ **Longitud del brazo**

La longitud del brazo del agitador está dada por la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{10}{11} \phi t$$

$$Lb = \frac{10}{11} * 20$$

$$Lb = 18 cm$$

♦ **Diámetro del Rodete**

$$Er = \frac{1}{18} Lb$$

$$Er = \frac{1}{18} * 0.18$$

$$Er = 1 cm$$

♦ **Distancia entre el fondo del Tanque y el rodete**

$$h_{fr} = \frac{1}{10} * h_u$$

$$h_{fr} = \frac{1}{10} * 0.20$$

$$h_{fr} = 0.02 \text{ m}$$

$$h_{fr} = 2 \text{ cm}$$

♦ **Alto de la paleta**

$$A_p = \frac{1}{12} L_B$$

$$A_p = \frac{1}{12} * 0.18 \text{ m}$$

$$A_p = 0.015 \text{ m}$$

$$A_p = 1.5 \text{ cm}$$

♦ **Diámetro utilizado por la paleta**

$$D_p = \frac{6}{7} * \phi_t$$

$$D_p = \frac{6}{7} * 0.20 \text{ m}$$

$$D_p = 0.17 \text{ m}$$

$$D_p = 17 \text{ cm}$$

**Balance de masa y energía**

♦ **Masa del estiércol de cerdo**

$$m_{ep} = \rho * V$$

$$m_{ep} = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.001 \text{ m}^3$$

$$m_{ep} = 1.03 \text{ kg}$$

♦ **Masa del estiércol de caballo**

$$m_e = \rho * V$$

$$m_{ec} = 733 \frac{kg}{m^3} * 0.001 m^3$$

$$m_{ec} = 0.073 kg$$

♣ **Masa del lactosuero**

$$m_l = \rho * V$$

$$m_l = 1024 \frac{kg}{m^3} * 0.001 m^3$$

$$m_{ec} = 1.024 kg$$

♣ **Masa del agua**

$$m_{ar} = \rho * V$$

$$m_{ar} = 1800 \frac{kg}{m^3} * 0.004 m^3$$

$$m_a = 7.2 kg$$

♣ **Masa del acero inoxidable**

$$m_{ai} = \rho * V$$

$$m_{ai} = \rho * (e * h * d * \pi)$$

$$m_{ai} = 8000 * (0.01 * 0.25 * 0.2 * \pi)$$

$$m_{ai} = 8000 * 1.57 \times 10^{-3}$$

$$m_{ai} = 12.56 \frac{kg}{m^3}$$

♣ **Cálculo de la viscosidad**

$$\mu = 2g * \frac{(\delta_{sol} - \delta_{liq}) * r^2}{9 * v}$$

$$\mu = 2 \left( 9.8 \frac{m}{s^2} \right) * \frac{\left( 1445 \frac{Kg}{m^3} - 1070 \frac{Kg}{m^3} \right) * (9.5 * 10^{-3})^2}{9 * 0.15 \frac{m}{s}}$$

$$\mu = 0.49 \frac{Kg}{m \cdot s}$$

♣ **Cálculo del número de Prandtl Pr**

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{K}$$

$$Pr = \frac{3.3 * 10^6 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} * 0.49 \frac{Kg}{m \cdot s}}{2.52 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}$$

$$Pr = 6.42 * 10^5$$

♣ **Cálculo del número de Reynolds**

$$Re = \frac{Dr^2 * N * \delta}{\mu}$$

$$Re = \frac{(0.17m)^2 * (1.5s^{-1}) * 1070 \frac{Kg}{m^3}}{0.49 \frac{Kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 556.84$$

♣ **Cálculo del número de Nusselt**

$$Nu = 0.36 * Re^{0.67} * Pr^{0.33} * \left( \frac{\mu_R}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$Nu = 0.36 * (556.84)^{0.67} * (6.42 * 10^5)^{0.33} * 1$$

$$Nu = 2053.32$$

♣ **Cálculo del coeficiente de transmisión de calor**

$$h = \frac{Nu * K}{D_t}$$

$$h = \frac{2053.32 * 2.52 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.2 m}$$

$$h = 25871.8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

♣ **Cálculo del gradiente de temperatura aritmético**

$$\Delta T = \frac{2T_F - (T_e + T_s)}{2}$$

$$\Delta T = \frac{2(35) - (45 + 24)}{2}$$

$$\Delta T = 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

♣ **Cálculo del flujo de calor del sustrato**

Para calcular el calor que genera todo el sistema se realiza el siguiente balance:

$$Q_s = A * h * \Delta T$$

$$Q_s = 0.16 \text{ m}^2 * 25871.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}} * 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 2069.75 \text{ W}$$

$$Q_s = 2.07 \text{ Kw}$$

♣ **Cálculo de la potencia del rodete**

$$Np = \frac{P}{\delta * N^3 * Dr^5}$$

$$P = Np * (\delta * N^3 * Di^5)$$

$$P = 0.5 * \left( 1070 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (1.5 \text{ s}^{-1})^3 * (0.17 \text{ m})^5 \right)$$

$$P = 0.26 \text{ W}$$

$$P = 3.43 * 10^{-5} \text{ hp}$$

### **3.4.2 Resultados obtenidos del dimensionamiento del biorreactor**

De acuerdo a lo cálculos realizados obtuvimos los siguientes resultados los mismos que en este capítulo permitirán una discusión de resultados en relación al diseño y eficiencia del inóculo en el tratamiento.

### 3.4.3 Resultados dimensionamiento biorreactor

**TABLA XXVI.** Resultados Dimensionamiento Biorreactor

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	RESULTADO	UNID.
Volumen del tanque	$V_t$	6	L
Altura del tanque	$h_u$	19,10	cm
Altura de seguridad	$h_s$	5,73	cm
Altura total	$H_T$	25	cm
Espesor de la lámina	$e$	0,5	mm
Espesor de la tapa	$e_T$	1,8	mm
Diámetro interno	$\varnothing_i$	20,1	cm
Altura de la camisa	$h_c$	16	cm
Diámetro de la camisa	$d_c$	34	cm
Volumen de la camisa	$V_c$	9,82	L
Longitud del brazo	$L_b$	18	cm
Altura del agitador	$L_a$	37,5	cm
Diámetro del rodete	$\varnothing_r$	1	cm
Distancia entre el fondo del tanque y el rodete	$h_{fr}$	2	cm
Altura de la paleta	$A_p$	1,5	cm
Diámetro utilizado por las paletas	$D_p$	17	cm
Velocidad de transmisión de calor	$Q$	2.07	Kw
Potencia del rodete	$P$	0.26	W

Fuente: Autoras.

### 3.5 Eficiencia del biorreactor

Al hablar de eficiencia debemos tomar en cuenta tres aspectos: el aspecto físico, aspecto químico y el aspecto social; e cuanto al aspecto físico tenemos una eficiencia del equipo del 90% ya que falta automatización en el sistema; en el aspecto químico se obtiene una eficiencia del 65% ya que se logró reducir el  $Cr^{3+}$  del agua residual de curtiembre en un 80%, pero la DQO se pudo controlar solo en un 50% en promedio las dos nos da la eficiencia química mencionada; la eficiencia social tiene una eficiencia del 100% ya que el proyecto es de un impacto social positivo.



En si, como resultado final de eficiencia promediando los resultados individuales se obtiene una eficiencia total del 85%.

### 3.6 Requerimiento presupuestario

#### 3.6.1 Recursos humanos

**TABLA XXVII.** Recursos Humanos

<b>Recurso</b>	<b>Valor</b>
Mano de obra para la construcción del tanque y camisa del reactor	50,00
Mano de obra para la construcción de la tapa	50,00
Mano de obra para control de pH y temperatura	100,00
Mano de obra para la automatización del equipo	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>300,00</b>

**Fuente:** Autoras.

#### 3.6.2 Recursos materiales

**TABLA XXVIII.** Recursos Materiales

<b>Recurso</b>	<b>Valor</b>
Materiales y suministros de oficina	150,00
Materiales para la construcción del tanque y camisa del reactor	300,00
Materiales para la construcción de la tapa	100,00
Materiales para los sensores	450,00
Materiales para la automatización del equipo	1100,00
Análisis de laboratorio	454,72
<b>TOTAL</b>	<b>2554,72</b>

**Fuente:** Autoras.

### 3.6.3 Recursos económicos

**TABLA XXIX.** Recursos Económicos

Recurso	Valor
Recursos humanos	300,00
Recursos materiales	2554,72
<b>Subtotal</b>	<b>2854,72</b>
Imprevistos (10%)	285,47
<b>TOTAL</b>	<b>3140,19</b>

Fuente: Autoras.

### 3.6.4 Fuentes de financiamiento

**TABLA XXX.** Fuentes de Financiamiento

Fuente	Porcentaje	Monto
LABORATORIO CESTTA	90	<b>2854,72</b>
Financiamiento propio	10	<b>300,00</b>

Fuente: Autoras.

## 3.7 Discusión de resultados

### 3.7.1 Caracterización del agua residual de curtiembre

Los resultados de los análisis del agua residual de curtiembre antes del tratamiento con el biorreactor tienen valores fuera de norma lo que nos permite decir que el agua a tratar es viable para el proyecto.

### 3.7.2 Caracterización durante y después del tratamiento del agua residual

La temperatura es uno de los principales factores que fueron controlados durante los 30 días que se llevó a cabo el proceso de remediación. Como se refleja en el grafico 1 la temperatura siempre estuvo controlada y, a excepción de una vez que

se obtuvo un valor de 29 °C, se encontró en los rangos de temperatura adecuados para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos de interés.

Otro factor importante de controlar en este proceso fue pH que al igual que la temperatura no tuvo variaciones significativas durante todo el proceso. De acuerdo con la gráfica 2 en los días 14 y 15 del tratamiento existió una elevación de pH, esto se debió al consumo de suero, ya que hubo un periodo relativamente más largo a comparación de los otros periodos, que es el componente que además de ser un nutriente para los microorganismos fue un factor determinante del pH ácido de la mezcla; por tal motivo se añadió cierta cantidad de suero para controlar este parámetro.

El cromo fue un parámetro que consideramos importante en este tratamiento debido al riesgo que representa. Se determinó la cantidad de cromo que contenía la muestra de agua antes de ser tratada y semanalmente se analizó el agua que estaba en proceso de remediación; como se muestra en la gráfica 3 nuestro valor inicial de cromo fue de 2613,27 ppm que disminuyó bruscamente debido a la gran cantidad de inóculo frente a la pequeña cantidad de agua residual en el proceso de adaptación, mientras que cuando ya se trata los 4 L de agua existe una reducción paulatina debido a que la concentración del agua es mayor a la concentración de inóculo. Finalmente se obtuvo un resultado de 131,7 ppm que demuestra la eficiencia del proceso pero en un gran periodo de tiempo.

La Demanda Química de Oxígeno es otro factor fundamental que decidimos monitorear, se empezó con un valor de 7450 ppm que se elevó abruptamente, tal como se indica en la gráfica 4, en el proceso de adaptación eso se debe a que el suero posee una alta Demanda Química de Oxígeno. Posteriormente se evidencia que el valor de este parámetro va disminuyendo hasta que se tiene un incremento relativo con una posterior reducción pero a pesar de ello nuestro resultado final presenta una concentración más elevada de acuerdo a la concentración con la que se empezó el proceso.

### **3.7.3 *Análisis de resultados dimensionamiento del biorreactor***

Para realizar el dimensionamiento del biorreactor debimos escoger en primer lugar el tipo de reactor, para lo cual se tomó en cuenta el medio en el cual los microorganismos crecen con mayor eficiencia, siendo éste un medio anaerobio y por la inoculación de sustrato, se decidió al final que sería un reactor anaerobio fed batch alimentado manualmente, ya que el sustrato requerido para el crecimiento microbiano no es necesariamente continuo. Una vez que se decidió por el tipo de biorreactor se obtuvieron los resultados de dimensionamiento de la tabla XXIII del CAP III.

En cuanto el sistema de agitación obtuvimos una potencia de agitación muy baja, por lo que fue necesario utilizar en la construcción un motor de  $\frac{1}{2}$  hp con un variador de velocidad de frecuencia, como la teoría nos dice que la velocidad de agitación debe ser de acuerdo a la resistencia de las bacterias en el medio; así que se optó por una velocidad de agitación de 90 rpm, lo cual mantiene la muestra homogénea y permite que los microorganismos no se golpeen causando su muerte; se puede trabajar también a 120 rpm no más de esta velocidad ya que el medio es poco viscoso y produciría turbulencia y muerte celular.

Para la automatización de los parámetros fundamentales del tratamiento fue indispensable un ajuste de temperaturas y pH, que oscilan entre los 30 - 40 °C y 3-4.5 respectivamente; con la intención de mantener la temperatura del fermentador en los 35 °C durante el mayor tiempo posible se utilizó un calentador sumergible el cual nos permitió mantener por mayor tiempo la temperatura entre los 33 y 37 °C al agua, en cuanto el tiempo que permanece encendido el calentador es de 32 días, lo que nos da un promedio de 320 horas en los rangos óptimo de crecimiento microbiano que nos da un resultado eficiente en cuanto a la temperatura de trabajo durante las 4 semanas de tratamiento.

#### ***3.7.4 Eficiencia del inóculo y del biorreactor***

De acuerdo a los valores numéricos obtenidos en el diseño del biorreactor, con una capacidad de 6 L, se trabajó a una eficiencia de diseño del 90% ya que los sensores no son en su totalidad automáticos, en cuanto a la relación de inóculo con el equipo se considera una eficiencia del 80% por las condiciones en las que se desarrolló el tratamiento.

## CAPITULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- ✦ El biorreactor fue implementado en el laboratorio de Biotecnología, el cual posee un tanque fermentador de 6 L de capacidad, diámetro de 20 cm, altura 25 cm; tiene una cámara de calefacción de 16 cm de altura, 34 cm de diámetro y volumen de 9,82 L; de igual forma cuenta con un sistema de agitación constituido por 4 paletas planas adheridas a un eje de 1 cm de diámetro, éstos unidos a la tapa del fermentador.
- ✦ En la caracterización físico-química del agua residual de curtiembre previo a su tratamiento se ha obtenido valores de  $\text{Cr}^{+3}$  2613,27 mg/L y DQO de 7450 mg/L, estando estos valores fuera de los límites de control especificados en el TULSMA para descarga al alcantarillado y agricultura (Tablas 6 y 11)
- ✦ Es óptimo el proceso para cromo trivalente, se redujo los valores de  $\text{Cr}^{3+}$  de 2613,27 mg/L a 131,70 mg/L en un periodo de 1 mes.
- ✦ En la reducción de DQO el proceso no es eficiente ya que hubo un incremento considerable en los valores iniciando con un valor de 7450 mg/L y se concluyó en tratamiento con un resultado de 10100 mg/L.
- ✦ Comprobamos la eficiencia del sistema en el tratamiento del agua residual de curtiembre siendo del 80% con respecto a la concentración inicial. En cuanto al cumplimiento de la normativa tenemos una eficiencia del 50%; podemos concluir que el rendimiento total es del resultado final de eficiencia

promediando los resultados individuales se obtiene una eficiencia total del 65%.

## 4.2 Recomendaciones

- ✦ Se recomienda hacer uso del Manual Operativo de Biorreactor, aplicando normas de bioseguridad y mantenimiento del mismo.
- ✦ Para que el equipo sea eficiente se recomienda trabajar con un sustrato específico que se puede obtener mediante el aislamiento de bacterias sulforeductoras.
- ✦ Para mantener la acidez del medio sin aumentar la DQO se recomienda aislar las bacterias *lactobacilus*.
- ✦ Para un tratamiento a gran escala se recomienda utilizar un biorreactor de flujo continuo para una mayor eficiencia en la industria.

## **CAPÍTULO V**

### **RESUMEN**

Se diseñó y construyó un biorreactor anaerobio fed batch en fase líquida para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Los métodos utilizados en este trabajo fueron inductivos y deductivos. En los métodos inductivos se desarrollaron cálculos mediante fórmulas preestablecidas para conocer las dimensiones del fermentador así como de la camisa, igualmente se desarrollaron análisis de laboratorio permitiéndonos conocer parámetros como Demanda Química de Oxígeno, cromo trivalente, acidez y coliformes totales. El tratamiento se efectuó durante 4 semanas usando un mix bacteriano entre estiércol porcino, caprino y lactosuero con una agitación de 90 revoluciones por minuto. En cuanto a métodos deductivos se investigó sobre la influencia positiva de biorreactores para tratar aguas residuales industriales a nivel latinoamericano.

El biorreactor con forma cilíndrica fue construido en acero inoxidable AISI 304, posee camisa externa que mantiene un ambiente adecuado usando un calentador sumergible, sensores para medir pH y temperatura, altura 25 cm, volumen 6 L, diámetro 20 cm, motor para agitación de 0,5 hp más un variador. Con respecto a los resultados del tratamiento encontramos valores iniciales de cromo trivalente y Demanda Química de Oxígeno 2613,27 mg/L y 7450 mg/L respectivamente, mientras tanto sus valores finales fueron 131,70 mg/L para cromo trivalente y 10100 mg/L para Demanda Química de Oxígeno.

En base a los resultados obtenidos con respecto al diseño y construcción del biorreactor concluimos que tanto su funcionamiento así como sus características son adecuadas para ser usado como instrumento en prácticas de laboratorio. En



cuanto al proceso de remediación concluimos que la eficiencia fue del 60% con respecto a cromo trivalente.

Recomendamos a los estudiantes que hagan uso del reactor con la finalidad de separar metales pesados presentes en aguas residuales utilizar bacterias sulforeductoras, aisladas previamente, como medio de cultivo para obtener una mejor eficiencia en el proceso.

## SUMMARY

It was designed and built a fed batch anaerobic bioreactor in liquid phase for the treatment of tannery waste water in the Biotechnology Laboratory at the Faculty of Science from Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Higher Education).

Inductive and deductive were the methods used. In the inductive methods were developed and calculation through the means of preestablished formulas to know the fermenter dimensions as well as the jacket, also laboratory analysis was developed allowing to know parameters such as chemical oxygen demand, trivalent chromium, acidity and total coliforms. The treatment was carried out during 4 weeks using a mix of bacterial between pig, goat manure and whey with a stirring of 90 revolutions per minute. As a deductive methods were investigated about the positive influence of bioreactors for treatment of industrial waste water in Latin America.

The bioreactor in a cylindrical shape was built in AISI 304 stainless steel, with an external jacket keeping an appropriate environment using submersible heater, sensor to measure the pH and temperature value, height of 25 cm, volume 6 L. diameter of 20 cm, 0,5 hp motor for stirring plus a frequency inverter. With respect to the treatment results were found initial values of trivalent chromium and Chemical Oxygen Demand 2613,27 mg/L and 7450 mg/L respectively, while their final values were 131,70 mg/L for trivalent chromium and 10100 mg/L for Chemical Oxygen Demand.

In base of results obtained with respect to the bioreactor design and built it is concluded both functioning and their characteristics are adequate to be used as an instrument of laboratory practicals. As far as the process of remediation it is concluded the efficiency was 60 % with respect to trivalent chromium.

It is recommended to the students use the reactor in order to separate heavy metals presented in waste to use Sulfate-reducing bacteria, previous isolated, through a culture to get effectiveness in the process.

## BIBLIOGRAFÍA

- **ATKINSON B.** Reactores Bioquímicos., 2<sup>da</sup> ed., Barcelona-España. Reverté 2002., Pp. 15-45.
- **BIORREACTORES, ESTRATEGIAS BIOTECNOLÓGICAS**  
<http://es.scribd.com/doc/47628024/Tema-7-Clase-7-Estrategias-biotecnologicas-2-ppt-Modo-de-compatibilidad>  
(13-08-23)
- **BIOTECNOLOGÍA, HISTORIA Y CRONOLOGÍA**  
<http://www.ing.unlp.edu.ar/produccion/introing/bib/Biotecnologia2.pdf>  
(13-09-16)
- **CASTILLO F.** Biotecnología Ambiental. Madrid-España. Tébar. 2005., Pp. 28-35.
- **CHAMY R.** Avances en Biotecnología Ambiental. Volumen II., 2<sup>da</sup> ed., Valparaíso-Chile. Salesianos. 2003., Pp. 20-51.  
[http://www.euv.cl/archivos\\_pdf/concurso3/biotecnologia.pdf](http://www.euv.cl/archivos_pdf/concurso3/biotecnologia.pdf)  
(13-10-03)
- **CLASIFICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA**  
<http://saberdebiotecnologia.blogspot.com/2012/11/clasificacion-de-la-biotecnologia.html>  
(13-09-15)
- **CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS**

<http://www.elperiodicodehuelva.es/index.php/noticias/item/25799-bacterias-yesti%C3%A9rcol-de-caballo-frenan-la-contaminaci%C3%B3n-de-los-fosfoyesos?html=component&print=1>

(13-09-17)

- **CUBEROS E, PRIETO E. Y RODRÍGUEZ A.** Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá Colombia (Revista de Salud Pública) (Bogotá). No. 2, Volumen XI., Pp. 279-280. Marzo-Abril 2009.

[http://www.scielo.org/scielo.php?pid=S012400642009000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org/scielo.php?pid=S012400642009000200012&script=sci_arttext)

(13-09-02)

- **CURTIEMBRE**

[http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Alejandro%20Garcia%20Rodriguez.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Alejandro%20Garcia%20Rodriguez.pdf)

(13-09-02)

- **DUQUE J.P.** Biotecnología Panorámica de un Sector. Barcelona-España. Netbiblo. 2010., Pp. 22-32.

- **ESPARZA E. Y GAMBOA N.** Contaminación debida a la industria curtiembre (Revista de Química) (Lima). No. 1, Volumen XV., Pp. 43-44. Junio 2001.

<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/viewFile/4756/4757>

(13-09-17)

- **GARCÍA A.** Calidad alimentaria de la mezcla de estiércol de cerdo y esquilmos agrícolas deshidratada al sol, para bovinos de engorda. (Tesis), (M. Sc. Ciencias), Universidad de Colima., Facultad de Ciencias Biológicas

y Agropecuarias. Colima-México., 2000, Pp. 13-17.  
[http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Alejandro%20Garcia%20Rodriguez.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Alejandro%20Garcia%20Rodriguez.pdf)

(13-10-05)

- **GUEVARA E.** Diseño, construcción y caracterización hidrodinámica de un biorreactor multifuncional. (Tesis), (Ing. Almtos.), Universidad Tecnológica de la Mixteca., Instituto de Agroindustrias. Oaxaca-México., 2004, Pp. 8-9.

[http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/9359.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/9359.pdf)

(13-10-15)

- **LIZARDI M.** Contribución al estudio de la hidrodinámica y transferencia simultánea de masa en biorreactores airlift de tres fases: producción de un consorcio microbiano degradador de petróleo. (Tesis), (Dr. Biotecnología), Universidad Autónoma Metropolitana., Facultad de Ciencias Biológicas y de la Salud. México-México., 2001, Pp. 9.

<http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI15321.pdf>

(13-10-16)

- **MUÑOZ E.** Biotecnología y Sociedad. Madrid-España. Rogar. 2001. Pp. 53.

- **PAUCAR A.** Optimización de la concentración inicial del inóculo y medio de cultivo para la producción de un bioacaricida a partir de *Bacillus thuringiensis* en un bioreactor discontinuo a escala piloto. (Tesis), (Ing. Biotecnología), Escuela Superior Politécnica del Ejército., Departamento de Ciencias de la Vida., Sangolquí -Ecuador., 2011, Pp. 10-13.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3136/1/T-ESPE-030932.pdf>

(13-10-01)

- **RODRÍGUEZ A, CABRERA A Y VALENCIA J.** Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo (Revista mexicana de Ingeniería Biomédica) (México). No. 1, Volumen XXIV., Pp. 56-59. Marzo 2003.  
<http://www.medigraphic.com/pdfs/inge/ib-2003/ib031h.pdf>  
(13-09-02)
- **RODRÍGUEZ J.** Tratamiento anaerobio de aguas residuales. 2ª ed., Cali-Colombia. Redalyc. 2003., Pp. 15.  
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>  
(13-09-26)

# ANEXOS





# **ANEXO A PLANOS BIORREACTOR**

# **ANEXO B**

# **ANÁLISIS DE**

# **LABORATORIO**

 <p><b>LABCESTTA</b> Tecnología &amp; Soluciones</p> <p>SGC</p>	<p align="center"><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 1/2 Teléfono: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR</p>	 <p align="center"><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° OAE LE 20 06-098</p>
--	--	---

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	2757
<b>ST:</b>	13-1315 ANÁLISIS DE AGUAS
<b>Nombre Peticionario:</b>	NA
<b>Ata:</b>	Fátima Flores
<b>Dirección:</b>	Cdla. Pucara
<b>FECHA:</b>	23 de Diciembre del 2013
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2013 / 12 / 13 - 12:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2013 / 12 / 13 - 09:30
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2013 / 12 / 13 - 2013 / 12 / 23
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua de curtiembre
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-A 4297-13
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	NA
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	EL ALCE Tanques reservorios pre tratamiento
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Físico -Químico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Fátima Flores
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T max.: 25.0 °C. T min.: 15.0 °C

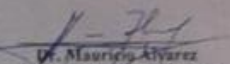
**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Sólidos Suspendidos	PEE/LABCESTTA/13 APHA 2540 D	mg/L	6180	220	±10%
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	7450	500	±3%
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	5,63	5-9	±0,10
*Cromo Trivalente	Cálculo	mg/L	2613,27	-	-

**OBSERVACIONES:**


- Muestra transportada en refrigeración
- Los parámetros con (\*) están fuera del alcance de acreditación del OAE
- Resultados comparados con límites permisibles Tabla 11 TULAS

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
**M. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

  
**Ing. Marcela Eraso**  
**JEFE DE LABORATORIO**

 <b>LABCESTTA</b> Tecnología & Soluciones SGC	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b> Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</b>  <b>ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</b>
---	--	---

<b>INFORME DE ENSAYO Nº:</b>	030
<b>ST:</b>	14 - 008 ANÁLISIS DE AGUAS
<b>Nombre Peticionario:</b>	NA
<b>Ata:</b>	Fátima Flores
<b>Dirección:</b>	Cda. Pucara
<b>FECHA:</b>	17 de Enero del 2013
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2014 / 01 / 09 - 12:00
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2014 / 01 / 09 - 09:30
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2014 / 01 / 09 - 2014 / 01 / 17
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua tratada
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-A 019-14
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	NA
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Bioreactor
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Físico - Químico, microbiológico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Fátima Flores
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C


**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO / NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Acidez	PEE/LABCESTTA/54 Standard Methods No. 2310 B	mg/L	3511	220	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	52250	500	±3%
Coliformes Totales	PEE/LABCESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 ml	120000	5-9	±20%
*Cromo Trivalente	Calculo	mg/L	213,50	-	-

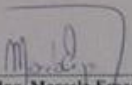
**OBSERVACIONES:**

- Muestra transportada en refrigeración
- Los parámetros con (\*) están fuera del alcance de acreditación del OAE.
- Resultados comparados con límites permisibles Tabla 11 TULAS

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
 INSPECCIÓN  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

  
**Ing. Marcela Erizo**  
**JEFE DE LABORATORIO**



# **LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN**

Panamericana Sur Km. 1 1/2  
Telefax: (03) 2998232  
ESPOCH  
FACULTAD DE CIENCIAS  
RIOBAMBA - ECUADOR

LABORATORIO DE  
ENSAYO ACREDITADO  
POR EL OAE

ACREDITACIÓN  
Nº OAE LE 2C 06-008

INFORME DE ENSAYO No: 063  
ST: 14 - 020 ANÁLISIS DE AGUAS  
Nombre Peticionario: NA  
Atm: Fátima Flores  
Dirección: Cda. Pocara  
FECHA: 27 de Enero del 2013  
NUMERO DE MUESTRAS: 1  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014 / 01 / 17 - 09:30  
FECHA DE MUESTREO: 2014 / 01 / 17 - 08:00  
FECHA DE ANÁLISIS: 2014 / 01 / 17 - 2014 / 01 / 27  
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada  
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 053-14  
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA  
PUNTO DE MUESTREO: Bioreactor  
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico - Químico, microbiológico  
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Johana Velin  
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

## **RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Acidez	PEE/LABCESTTA/54 Standard Methods No. 2310 B	mg/L	1377	220	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	13220	500	±3%
Coliformes Totales	PEE/LABCESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 ml	40000	5-9	±20%
*Cromo Trivalente	Calculo	mg/L	212,70	-	-

## **OBSERVACIONES:**

- Muestra transportada en refrigeración
- Los parámetros con (\*) están fuera del alcance de acreditación del OAE.
- Resultados comparados con límites permisibles Tabla 11 TULAS

## **RESPONSABLES DEL INFORME:**

**Dr. Mauricio Alvarez**  
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

**Ing. Marcela Erazo**  
JEFE DE LABORATORIO

 <b>LABCESTTA</b> Tecnología & Soluciones SGC	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b>  Panamericana Sur Km. 1 1/2 Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</b>  <b>ACREDITACIÓN</b> N° OAE LE 2C 06-008
---	--	--

<b>INFORME DE ENSAYO N°:</b>	094
<b>ST:</b>	14 - 032 ANÁLISIS DE AGUAS
<b>Nombre Peticionario:</b>	NA
<b>Atn.</b>	Fátima Flores
<b>Dirección:</b>	Cdla. Pacara
<b>FECHA:</b>	31 de Enero del 2014
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2014 / 01 / 23 - 09:30
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2014 / 01 / 23 - 08:00
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2014 / 01 / 23- 2014 / 01 / 31
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua tratada
<b>CÓDIGO LABCESTTA:</b>	LAB-A 081-14
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	NA
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Bioreactor
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Físico -Químico, microbiológico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Johana Velin
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T máx.: 25.0 °C T mín.: 15.0 °C

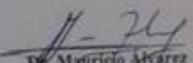
**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Acidez	PEE/LABCESTTA/54 Standard Methods No. 2310 B	mg/L	635	220	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	17920	500	±3%
Coliformes Totales	PEE/LABCESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 ml	3100	5-9	±20%
*Cromo Trivalente	Calculo	mg/L	201,22	-	-

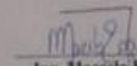
**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio
- Los parámetros con (\*) están fuera del alcance de acreditación del OAE.
- Resultados comparados con límites permisibles Tabla 11 TULAS
- Las unidades UFC son equivalentes a NMP.


**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
 RESPONSABLE TÉCNICO



  
**Ing. Marcela Erazo**  
 JEFE DE LABORATORIO



 <b>LABCESTA</b> <small>TRADING &amp; RELACIONES</small> SGC	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b>  Panamericana Sur Km. 1 1/2 Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIORAMBA - ECUADOR	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</b>  <b>ACREDITACIÓN</b> N° OAE LE 2C 06-008
--	--	--

INFORME DE ENSAYO No:	122
ST:	14 - 041 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Prestionario:	NA
Ata:	Fátima Flores
Dirección:	Calle Putura
FECHA:	04 de Febrero del 2014
NÚMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2014 / 01 / 27 - 08:00
FECHA DE MUESTREO:	2014 / 01 / 27 - 07:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2014 / 01 / 27 - 2014 / 02 / 04
TIPO DE MUESTRA:	Agua tratada
CÓDIGO LABCESTA:	LAB-A 095-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Bioreactor
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico -Químico, microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Johana Velín
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx. 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

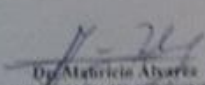
#### RESULTADOS ANALÍTICOS:

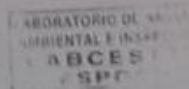
PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Acidez	PEE-LABCESTA/54 Standard Methods No. 2310 B	mg/L	751	220	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE-LABCESTA/09 APHA 5220 D	mg/L	10100	500	±3%
Coliformes Totales	PEE-LABCESTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 ml	4200	5-9	±20%
*Cromo Trivalente	Calculo	mg/L	131,70	-	-

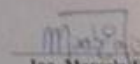
#### OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio
- Los parámetros con (\*) están fuera del alcance de acreditación del OAE.
- Resultados comparados con límites permisibles Tabla 11 TULAS
- Las unidades UFC son equivalentes a NMP.

#### RESPONSABLES DEL INFORME:

  
**Dr. Mauricio Abarca**  
 RESPONSABLE TÉCNICO



  
**Ing. Marcela Eraso**  
 JEFE DE LABORATORIO

## ANEXO C

### CONSTRUCCIÓN DEL BIORREACTOR

#### Moldeo del fermentador y camisa





## **PREPARACIÓN DEL INÓCULO**

### **Primera preparación**



### **Preparación del inóculo durante el tratamiento**



### **Funcionamiento del biorreactor**



## **ANEXO D**

### **MANUAL DE MANEJO DEL BIORREACTOR**

#### **INTRODUCCIÓN**

Un biorreactor es un equipo que proporciona un ambiente adecuado para que se desarrolle una reacción bioquímica. Éste está formado por el cuerpo del biorreactor, cámara de calefacción que permite mantener la temperatura adecuada, sistema de agitación (eje y paletas), motor de 0,5 hp, variador de velocidad, sensores de pH y temperatura y un calentador sumergible.

En el presente manual se indica los debidos procedimientos para la operación del biorreactor anaerobio. En el manual se expondrán los pasos a seguirán para el manejo y mantenimiento adecuado del sistema de agitación, automatización y limpieza del equipo para.

El objetivo primordial del manual es que el personal que manipule el equipo lo haga de manera eficiente para prolongar la vida útil del biorreactor.

## **PROCEDIMIENTO I**

### **ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA**

Para poder iniciar el trabajo del equipo debemos seguir los siguientes pasos:

1. Verificar que se tenga una conexión de 220 V con neutro.
2. Conectar el cable principal a la conexión 220 con neutro.
3. Conectar el cable del motor, del calentador sumergible y el sensor de temperatura al módulo.
4. Giramos a la derecha la llave de encendido general; al instante se enciende una luz verde; significa que la corriente de los equipos está lista.
5. Luego giramos a la derecha la llave de encendido del agitador y temperatura; al instante una luz roja se enciende; significa que la agitación y los sensores empiezan su funcionamiento.

Para cuando se haya terminado el proceso y se desee apagarlo seguimos los siguientes pasos:

1. Giramos a la izquierda la llave de agitación y temperatura e inmediatamente el sistema se para apagándose la luz roja.
2. Giramos a la izquierda la llave de encendido general e inmediatamente el sistema general se para.
3. Finalmente desconectamos el enchufe de la conexión 220 con neutro.

## PROCEDIMIENTO II

### PARA CAMBIAR LA FRECUENCIA O VELOCIDAD DE AGITACIÓN

Para realizar un cambio en la velocidad de agitación del equipo es importante seguir estrictamente los siguientes pasos:

1. Abrimos la tapa del módulo, y notamos una pantalla celeste con botones.
2. Pulsamos la tecla **P** y aparece en la pantalla **r0000**.
3. Pulsamos **▲** hasta visualizar **P1080**.
4. Pulsar **▲** **▼** hasta cambiar el valor a la frecuencia o velocidad deseada.
5. Pulsamos nuevamente **P** y aparece **P1080**.
6. Pulsamos **▼** hasta encontrar **r0000**
7. Finalmente pulsamos **P** y aparece **r0000** e inmediatamente la frecuencia que fue cambiada.



**Nota:** Para realizar el cambio de velocidad o frecuencia es importante que el sistema general este apagado.

## PROCEDIMIENTO III

### MANEJO DEL SENSOR DE pH

Para manejar el sensor de pH se necesita tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Verificamos que la pantalla del pH-metro tenga una batería funcional de 9 V
2. Retiramos el sensor de la tapa y lo conectamos al cable del sensor.
3. Encendemos con el botón de encendido y tomamos la lectura.

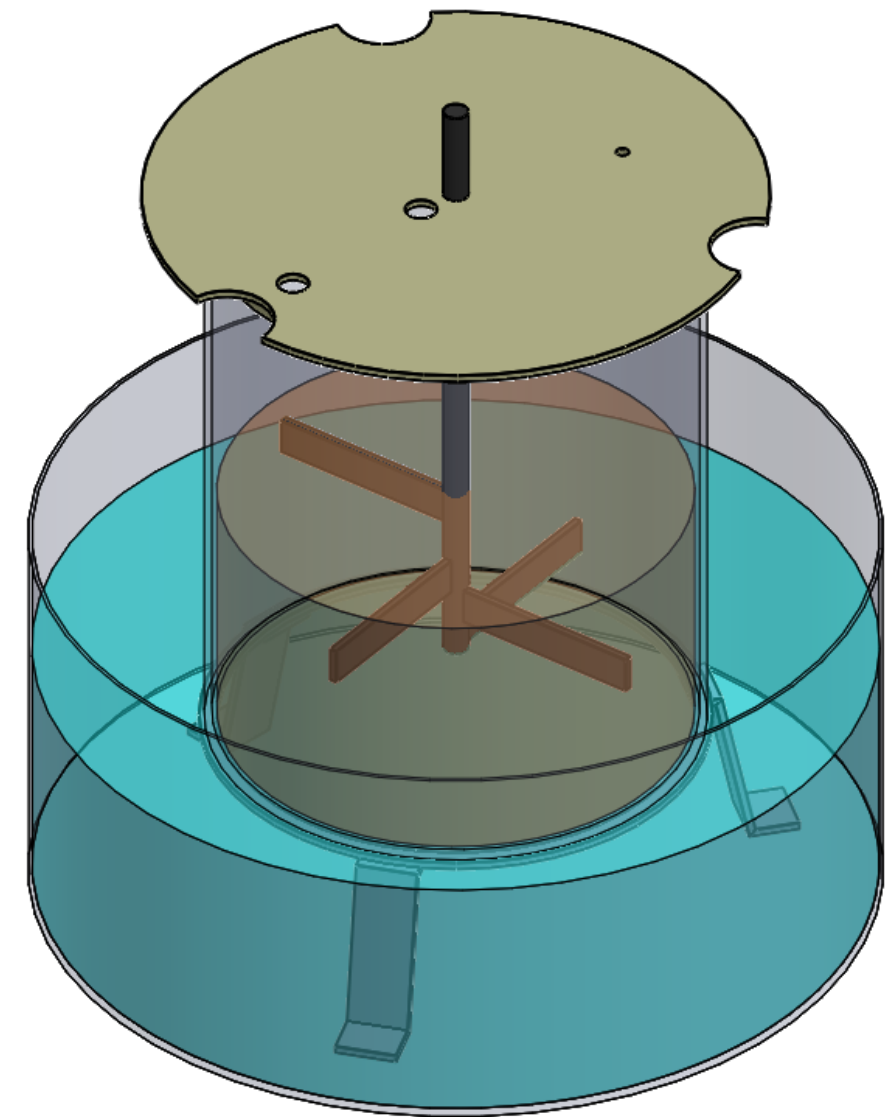
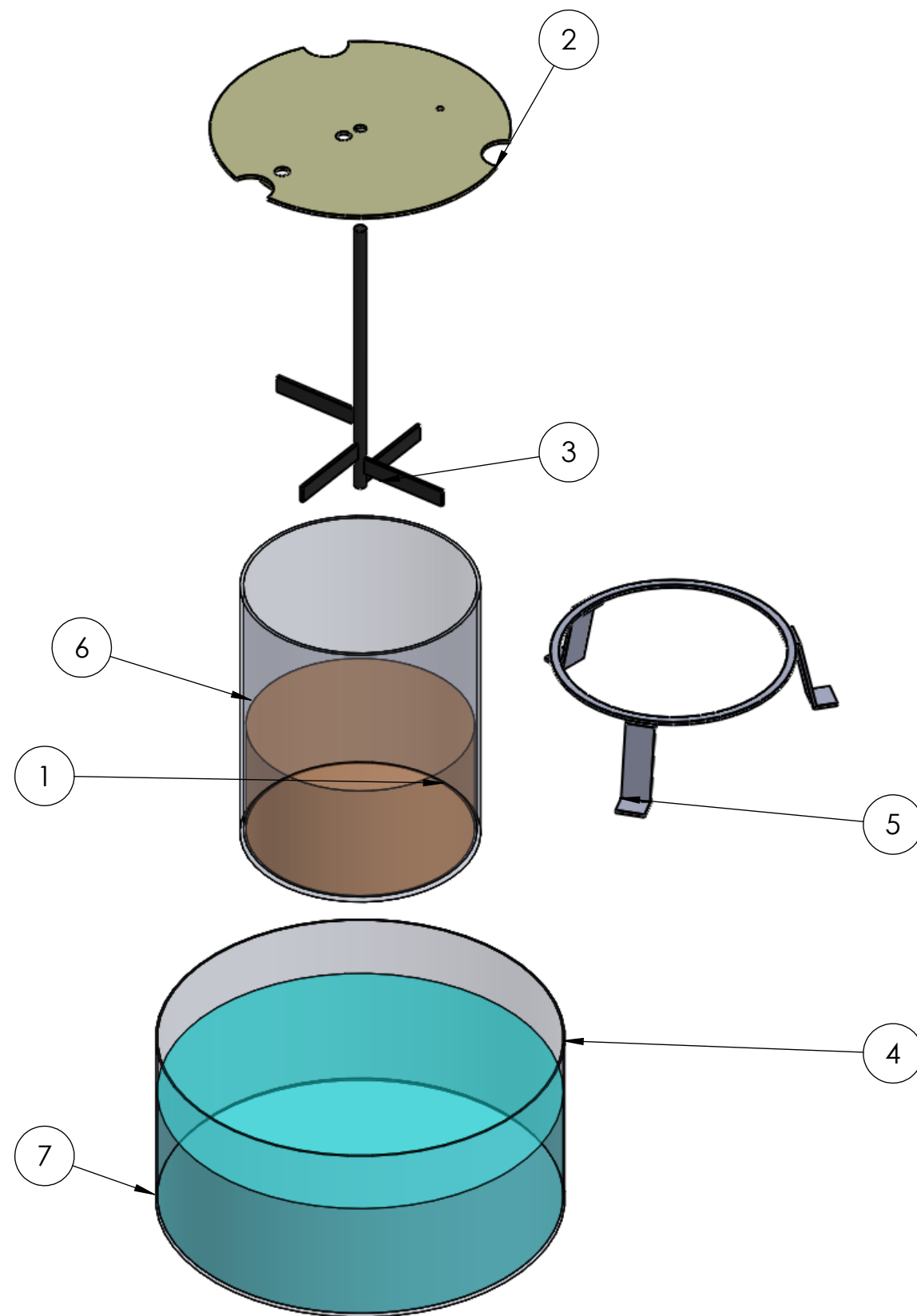
**Nota:** El sensor debe ser calibrado de acuerdo a los valores de pH con los que se vaya a trabajar.

## **PROCEDIMIENTO IV**

### **LIMPIEZA DEL BIORREACTOR**

Con el fin de mantener en buenas condiciones el equipo se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Antes de utilizar el biorreactor se debe limpiar y desinfectar, con la ayuda de toallitas y alcohol antiséptico, el cuerpo del biorreactor, el sistema de agitación y la camisa.
2. Al finalizar las actividades se debe lavar los recipientes con detergente y posteriormente desinfectarlos. Se debe tener cuidado al lavar y/o limpiar la tapa ya que los sensores y el motor pueden resultar afectados.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Fermentador	1
2	Tapa	1
3	Sistema de agitacion	1
4	Camisa	1
5	Soporte	1
6	agua residual	1
7	Agua caliente	1



## DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO EN FASE LIQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

Contiene:

**BIORREACTOR**

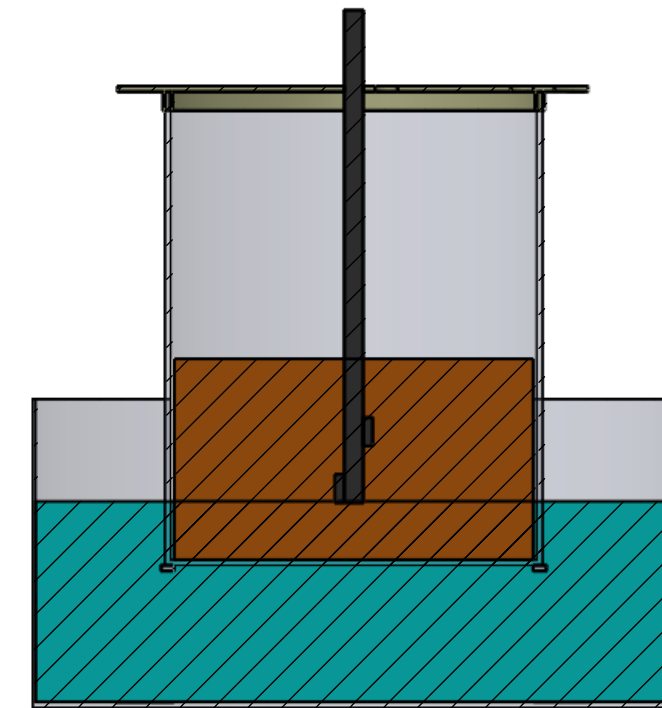
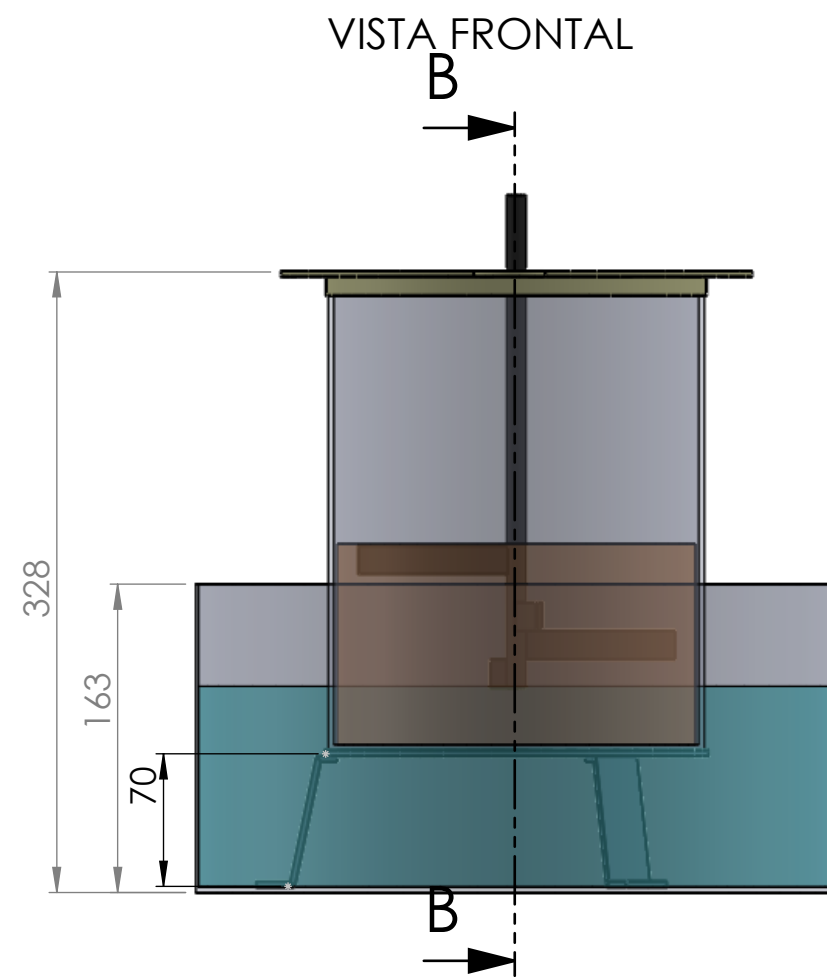
Realizado por: Flores Fatima y Velin Johanna

Material: **AISI 304**

Revisado por:  
Dra. Nancy Veloz  
Dr. Gerardo León

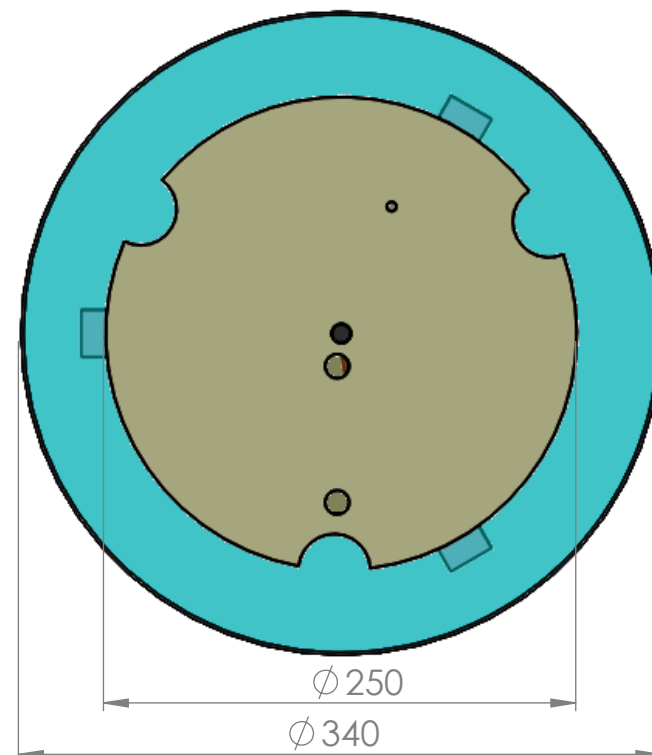
Escala:  
1:3

No de Lamina:  
1:6



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 4

VISTA SUPERIOR



Agua Residual	
Agua Caliente	



# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO EN FASE LIQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

Contiene: BIORREACTOR MEDIDAS GENERALES

Realizado por: Flores Fatima y Velin Johanna

Material: AISI 304

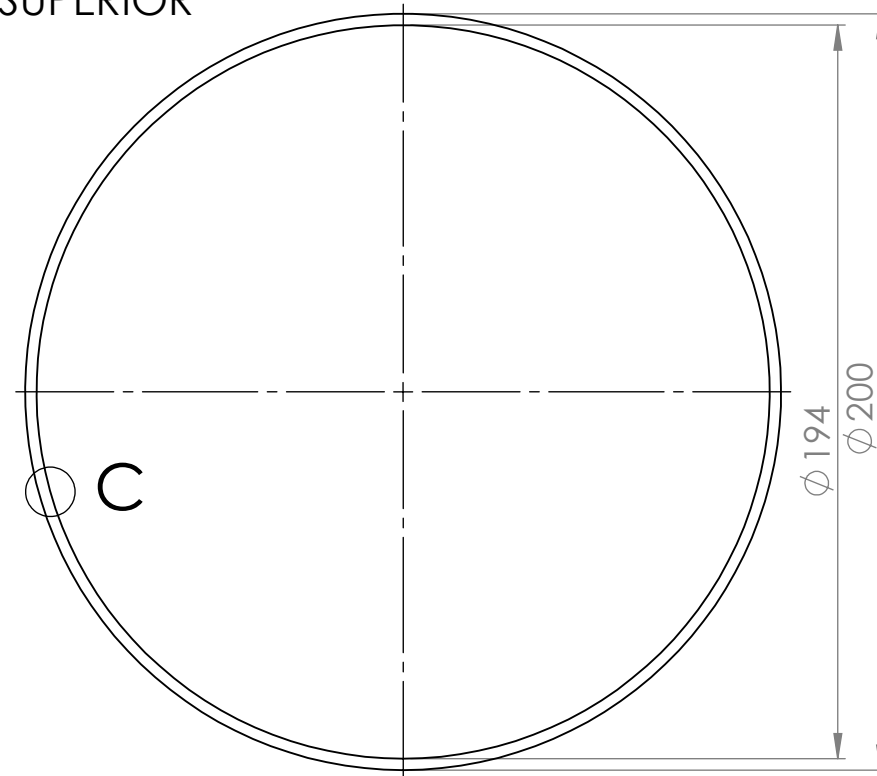
Revisado por:  
Dra. Nancy Veloz  
Dr. Gerardo León

Escala:  
1:3

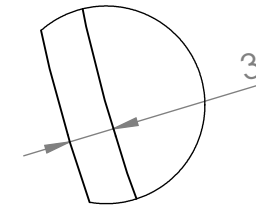
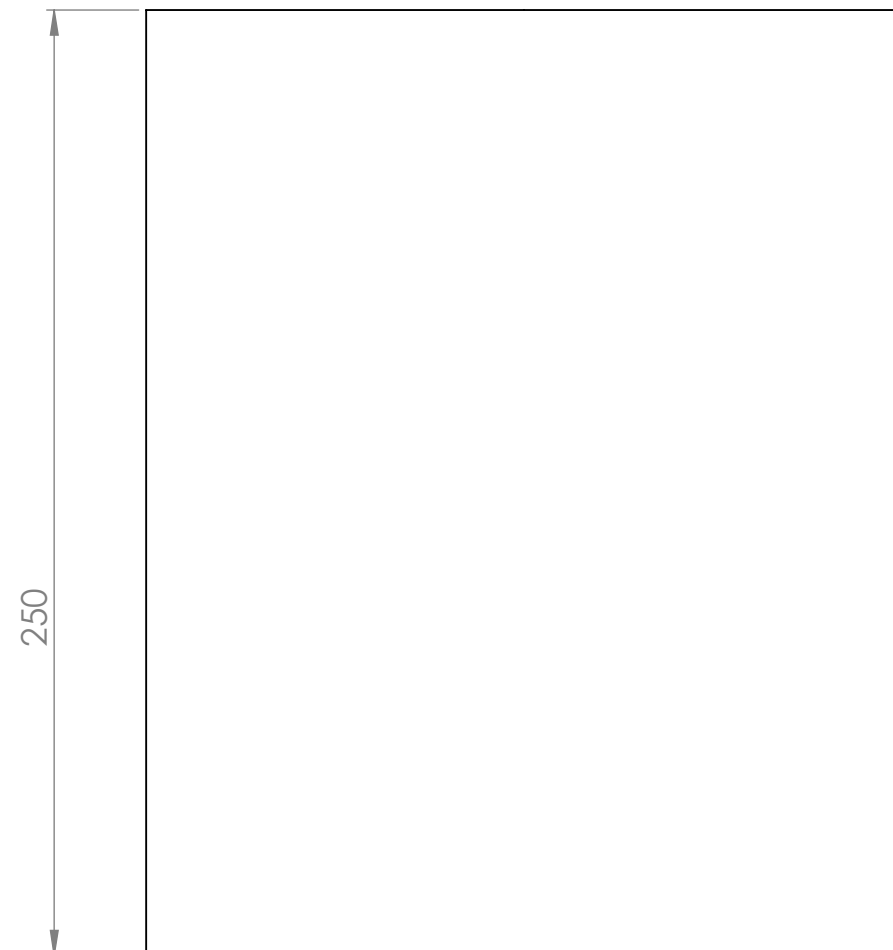
No de Lamina:  
2:6



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



DETALLE C  
ESCALA 2 : 1

VISTA ISOMETRICA



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO  
EN FASE LIQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

Contiene:

FERMENTADOR

Realizado por: Flores Fátima y Velín Johanna

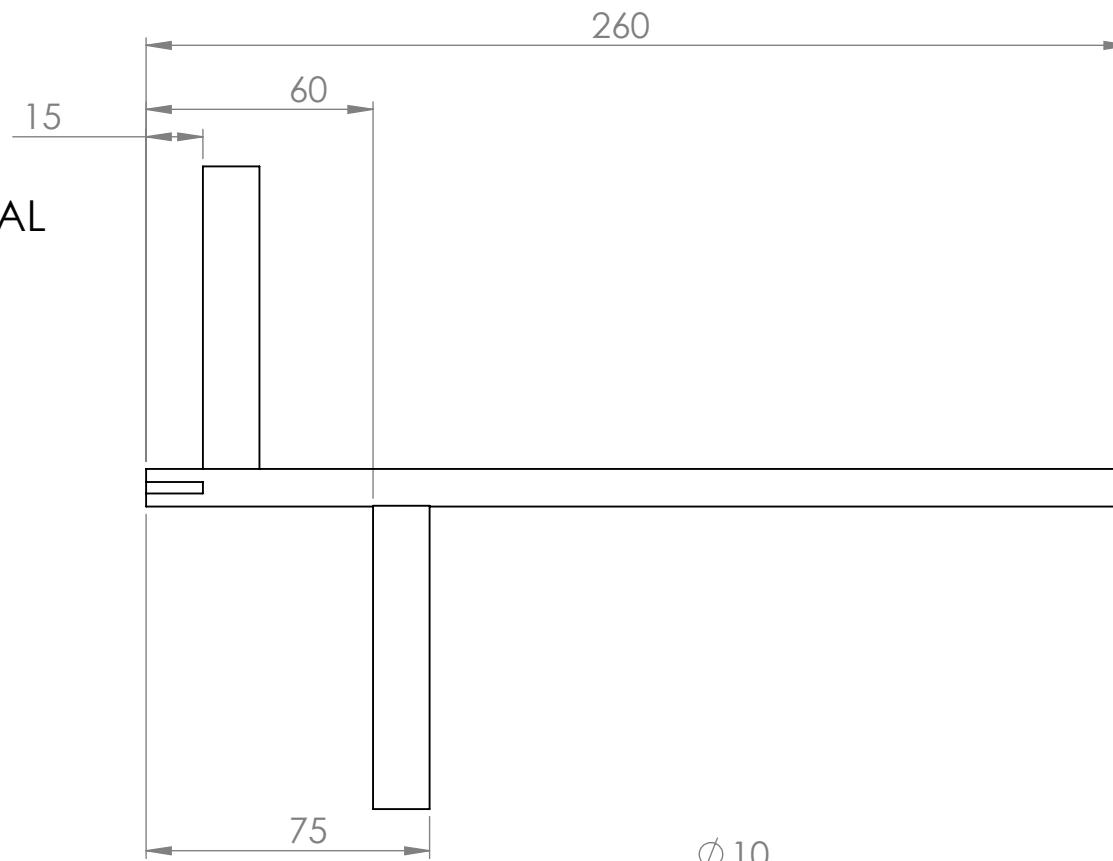
Material: AISI 304

Revisado por:  
Dra. Nancy Veloz  
Dr. Gerardo León

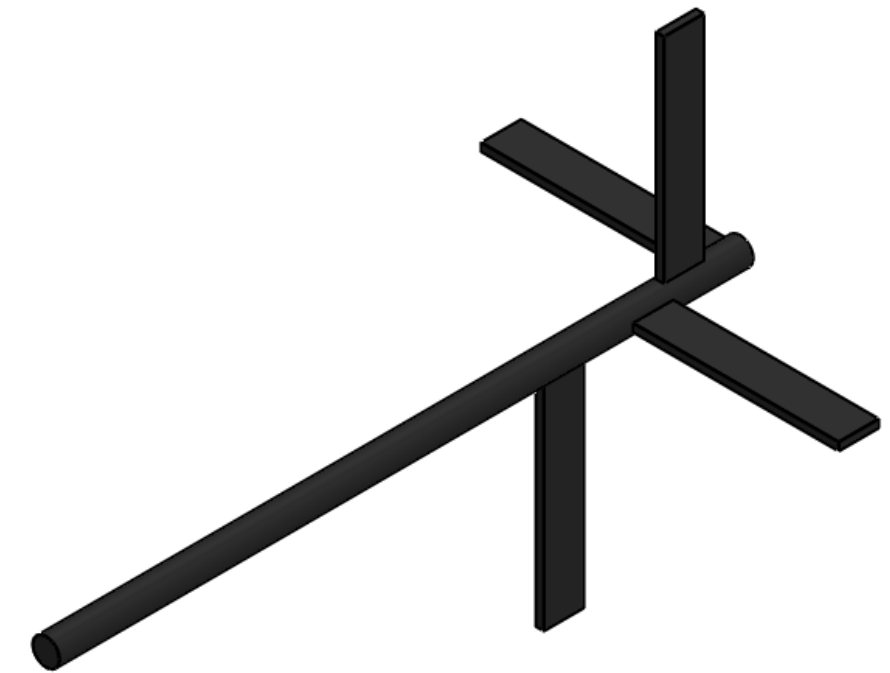
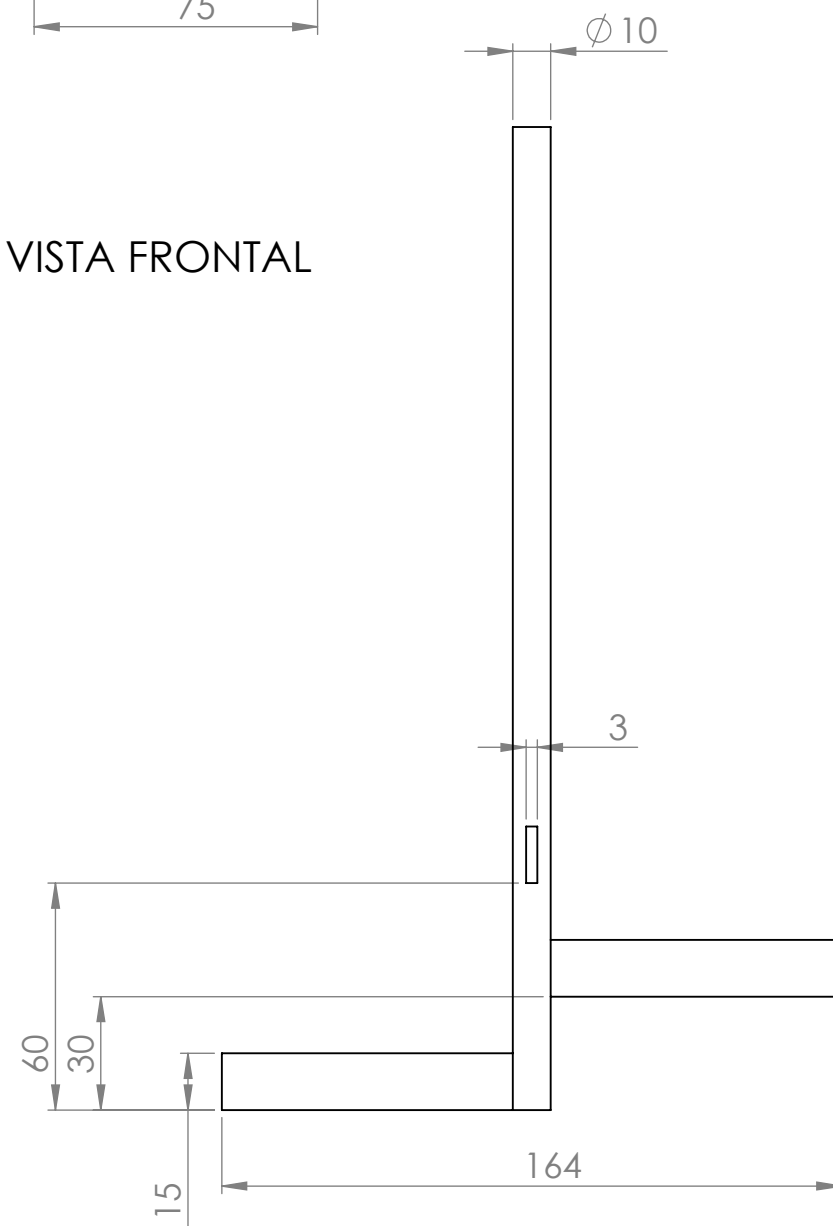
Escala:  
1:2

No de Lamina:  
3:6

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



VISTA ISOMETRICA



# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO EN FASE LIQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

Contiene: SISTEMA DE AGITACIÓN

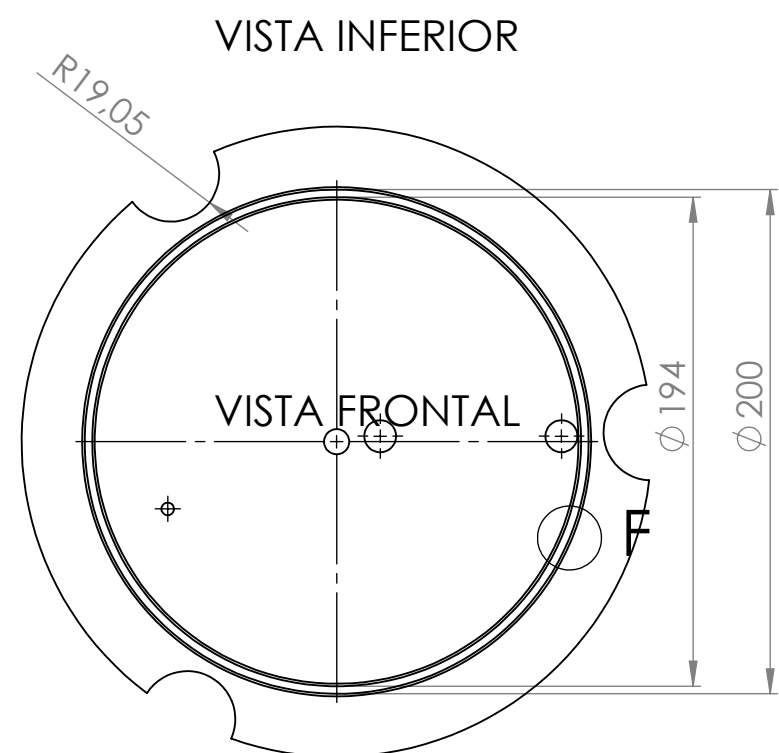
Realizado por: Flores Fátima y Velín Johanna

Material: AISI 304

Revisado por:  
Dra. Nancy Veloz  
Dr. Gerardo León

Escala:  
1:2

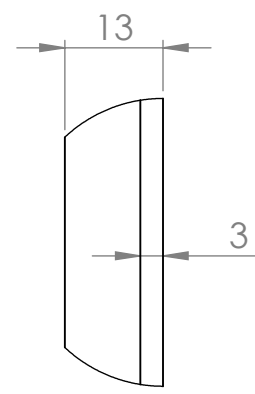
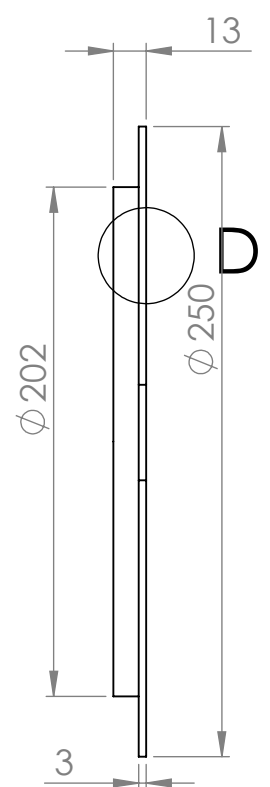
No de Lamina:  
4:6



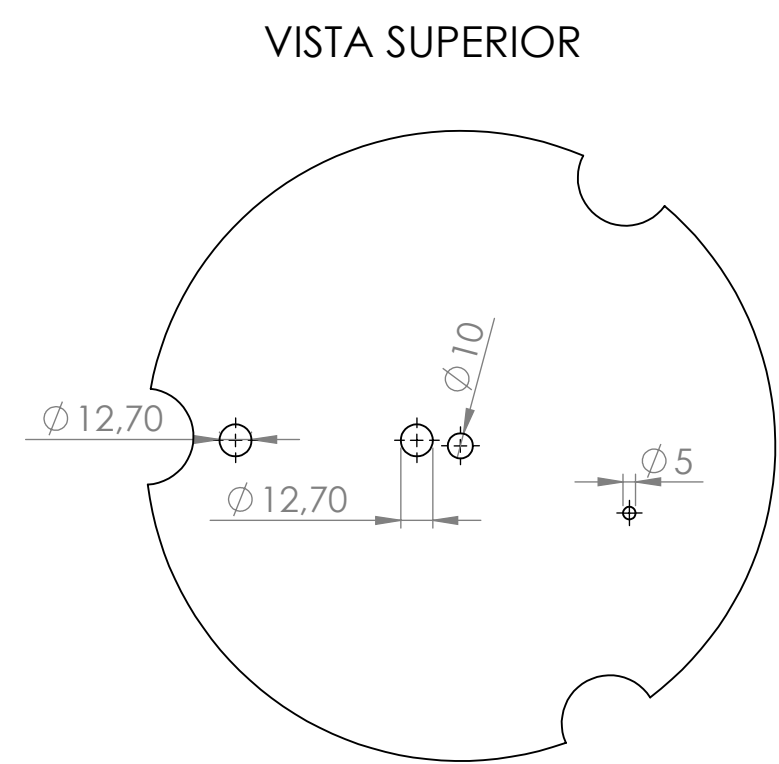
VISTA INFERIOR

VISTA FRONTAL

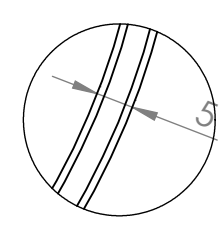
VISTA LATERAL



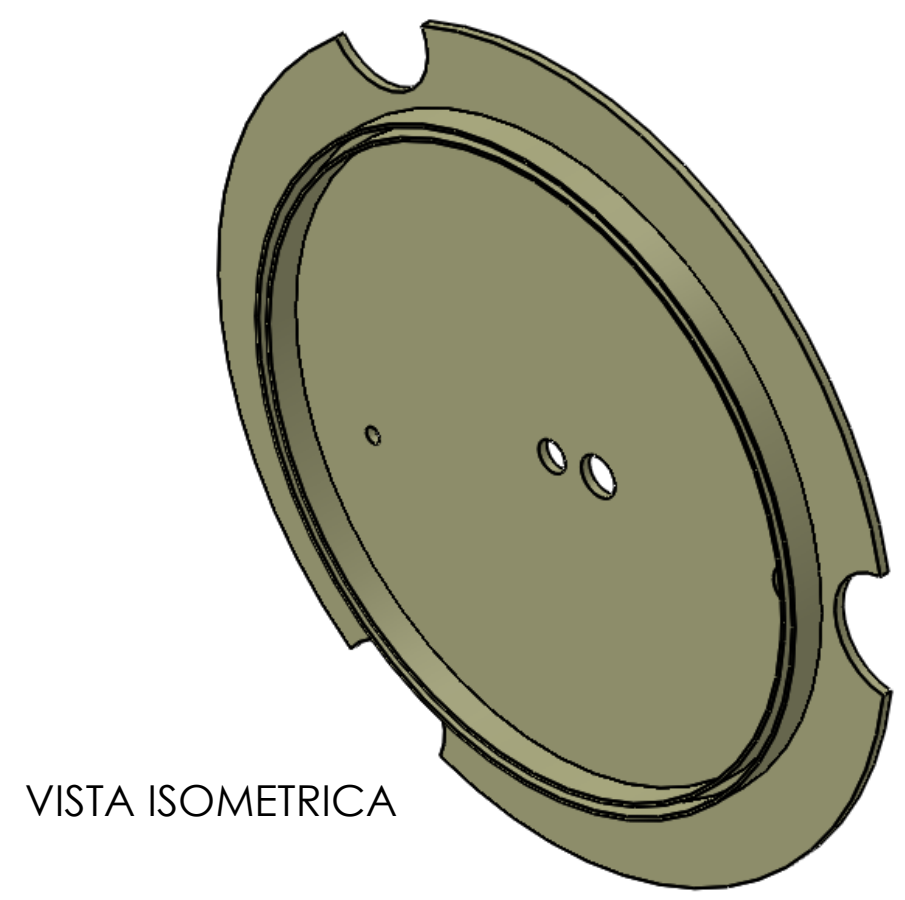
DETALLE D  
ESCALA 1 : 1



VISTA SUPERIOR



DETALLE F  
ESCALA 1 : 1



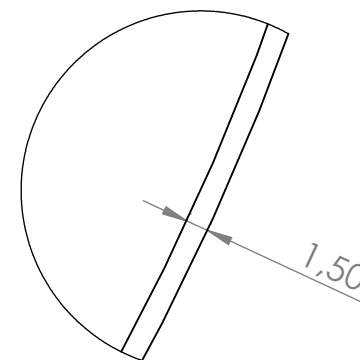
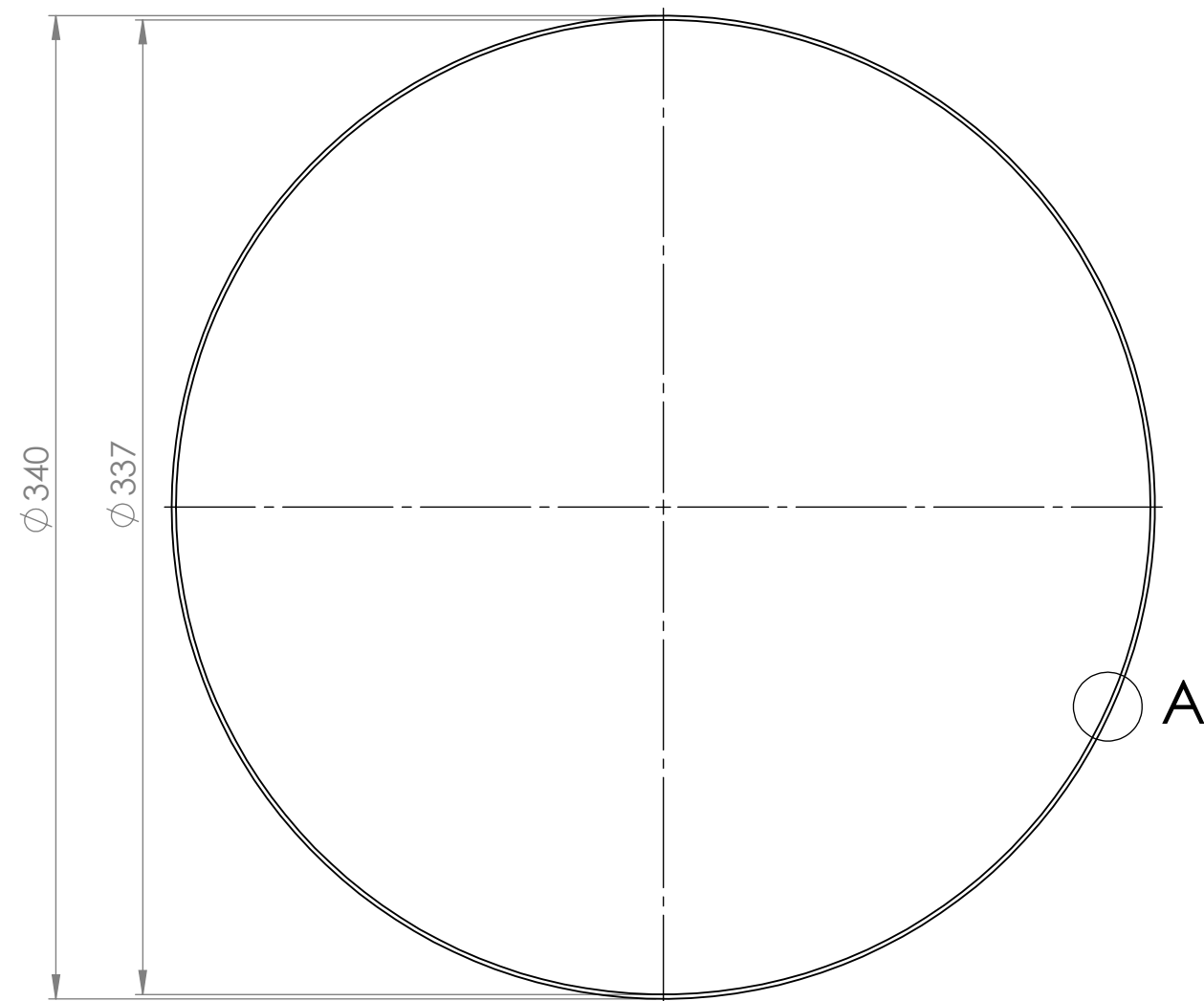
VISTA ISOMETRICA



# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO EN FASE LIQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

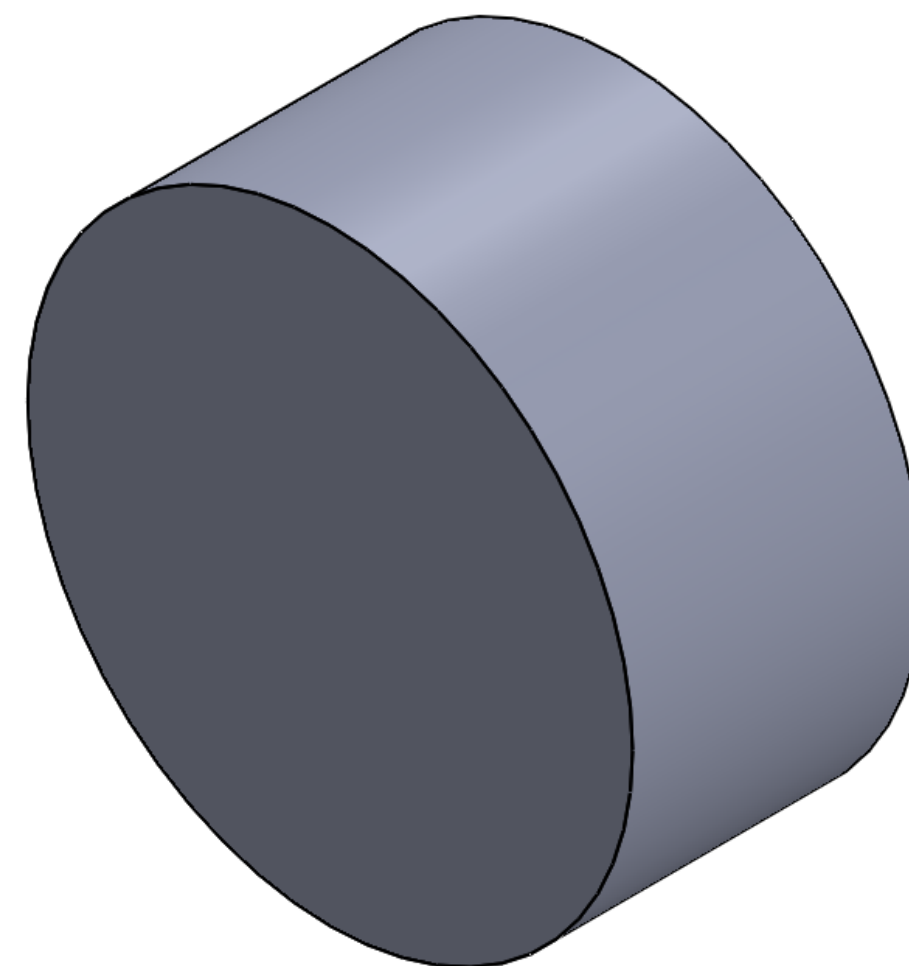
Contiene:		TAPA	
Realizado por: Flores Fátima y Velín Johanna		Material:	AISI 304
Revisado por: Dra. Nancy Veloz Dr. Gerardo León		Escala: 1:3	No de Lamina: 5:6

VISTA SUPERIOR

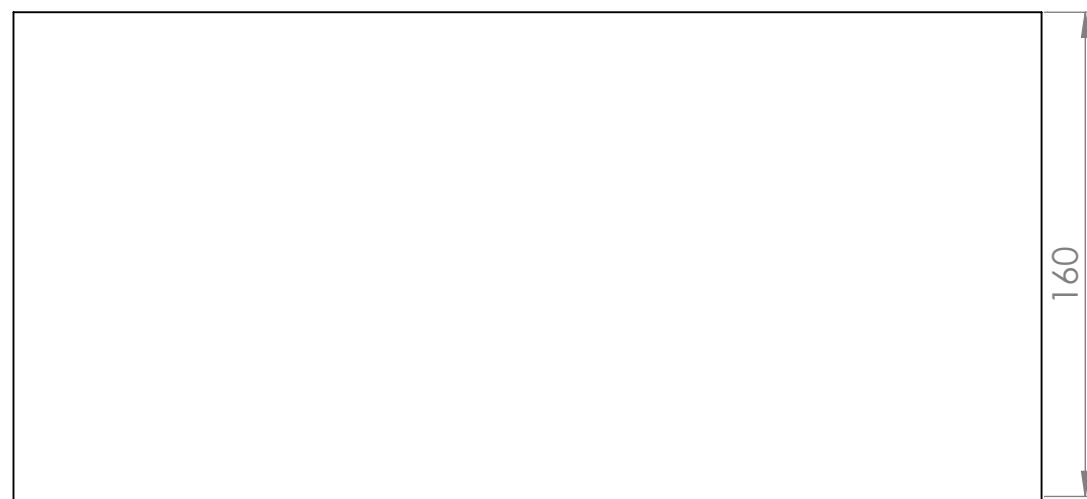


DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

VISTA ISOMETRICA



VISTA FRONTAL



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR ANAEROBIO  
EN FASE LIQUIDA PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

Contiene:

CAMISA

Realizado por: Flores Fátima y Velín Johanna

Material: AISI 304

Revisado por:

Dra. Nancy Veloz  
Dr. Gerardo León

Escala:

1:2

No de Lamina:

6:6